



TUGAS AKHIR - TM 145502

**ANALISA HASIL REPAIR SAMBUNGAN LAS BAJA
SA36 PASCA TERBAKAR METODE PENGELASAN
SMAW FILLER E7016 DIAMETER 3,2 MM DENGAN
VARIASI TEMPERATUR PEMANASAN 700°C DAN
900°C TERHADAP SIFAT MEKANIK MATERIAL**

**BANGKIT BUDIARTO
NRP.2112 030 036**

**Dosen Pembimbing
Ir.Hari Subyanto, MSc.
NIP.196006231988031002**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA III
JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016**



FINAL PROJECT - TM 145502

**ANALYSIS OF REPAIR CONNECTIONS WELD
STEEL SA 36 POST BURNING SMAW WELDING
METHOD FILLER E7016 DIAMETER 3.2 MM WITH
VARIATION OF TEMPERATURE HEATING 700°C
AND 900°C MECHANICAL PROPERTIES OF
MATERIAL**

Bangkit Budiarto
NRP.2112 030 036

Conselor Lecturer
Ir. Hari Subiyanto, MSc.
196006231 198803 1 002

DIPLOMA III STUDY PROGRAM
MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016

LEMBAR PENGESAHAN

**“ANALISA HASIL REPAIR SAMBUNGAN LAS BAJA
SA36 PASCA TERBAKAR METODE PENGELASAN
SMAW FILLER E7016 DIAMETER 3,2 MM DENGAN
VARIASI TEMPERATUR PEMANASAN 700°C DAN
900°C TERHADAP SIFAT MEKANIK MATERIAL”**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya
Pada
Bidang Studi Manufaktur
Program Studi Diploma III Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

BANGKIT BUDIARTO
NRP. 2112 030 036

Mengetahui dan Menyetujui
Dosen Pembimbing



Ir. Hari Subiyanto, MSc.
196006231 198803 1 002

SURABAYA, Januari 2016

ANALISA HASIL REPAIR SAMBUNGAN LAS BAJA SA36 PASCA TERBAKAR METODE PENGELASAN SMAW FILLER E7016 DIAMETER 3,2 MM DENGAN VARIASI TEMPERATUR PEMANASAN 700°C DAN 900°C TERHADAP SIFAT MEKANIK MATERIAL

Nama : Bangkit Budiarto
NRP : 2112 030 036
Jurusan : D3 Mechanical Engineering FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Hari Suyanto, MSc.

Abstrak

Kebakaran sering kali terjadi dan merusak konstruksi bangunan. Pada saat terjadi kebakaran terjadi proses pemanasan disambungan las dan base metal. Kemungkinan terjadi perubahan sifat mekanik pasca kebakaran. Jadi proses repair pada sambungan diperlukan. Proses ini dilakukan untuk memperbaiki atau mengembalikan pada fungsi awal setelah kebakaran, yang kemudian disimulasikan dengan pemberian panas pada material sebesar 700°C dan 900°C.

Penelitian ini akan membandingkan sifat mekanis hasil repair sambungan Las SMAW pada material baja SA36 dengan simulasi kebakaran dengan treatment 700°C dan 900°C. Parameter pengelasan menggunakan SMAW filler E7016 diameter 3,2mm dan arus 90 Amper. Melalui beberapa tahap pengujian, seperti uji tarik (tensile test), uji kekerasan (hardness test), dan metallography test.

Hasil penelitian ini diprioritaskan untuk mendapatkan tegangan tarik, uji mikro dan kekerasan pada baja SA36. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan data pada temperatur 700°C dengan nilai tegangan tarik rata – rata 485.26MPa dan tegangan luluh 342.82MPa. Struktur mikro pada base metal memiliki butiran halus, yang terdiri dari *ferrite* dan *perlite*. Berdasarkan data hasil pengujian kekerasan base metal, nilai kekerasan tertinggi adalah specimen pemanasan 700°C dengan nilai kekerasan 76.3 HRB.

Kata-kata kunci : Pengelasan SMAW, hardness test, metallography test.

ANALYSIS OF REPAIR CONNECTIONS WELD STEEL SA 36 POST BURNING SMAW WELDING METHOD FILLER E7016 DIAMETER 3.2 MM WITH VARIATION OF TEMPERATURE HEATING 700°C AND 900°C MECHANICAL PROPERTIES OF MATERIAL

Nam : Bangkit Budiarto
NRP : 2112 030 036
Mayor : D3 Teknik Mesin FTI-ITS
Advisor : Ir. Hari Subiyanto, MSc.

Abstract

Fires often occur and damage the building construction. In the event a fire occurs the heating process in the area of welded joints and base metal. Possible changes in the mechanical properties of the post-fire. So the repair process on cockfighting is required. This process is done to repair or restore the function early after the fire, which then simulated with the provision of heat to the material at 700°C and 900°C.

This study will compare the results of repair of mechanical properties in connection weld SMAW SA36 steel material with fire simulation, treatment of 700°C and 900°C. SMAW welding parameters using filler E7016 3,2mm diameter and 90 Amper current. Through several stages of testing, such as tensile test, hardness, and metallography test.

The results of this research priority groups to receive the tensile stress, microstructure and hardness test on steel SA36. Based on the results of data at a temperature of 700°C with a tensile stress value of the average - average 485.26MPa and yield stress 342.82MPa. Microstructure on base metal has a fine grain, consisting of ferrite and perlite. Based on the test data base metal hardness, the highest hardness value is warming 700°C specimen with a value of 76.3 HRB hardness.

Key words: Welding SMAW, hardness test, metallography test.

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, serta atas segala Rahmat dan Karunia-Nya. Sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir yang berjudul :

“ANALISA HASIL REPAIR SAMBUNGAN LAS BAJA SA36 PASCA TERBAKAR METODE PENGELASAN SMAW FILLER E7016 DIAMETER 3,2 MM DENGAN VARIASI TEMPERATUR PEMANASAN 700°C DAN 900°C TERHADAP SIFAT MEKANIK MATERIAL”

dapat diselesaikan dengan baik.

Laporan ini disusun sebagai salah satu persyaratan yang harus dipenuhi oleh setiap mahasiswa Program Studi D3 Teknik Mesin FTI-ITS untuk bisa dinyatakan lulus dengan mendapatkan gelar Ahli Madya.

Kiranya penulis tidak akan mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini tanpa bantuan, saran, dukungan dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ir. Hari Subyanto, MSc. selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberikan ide, arahan, bimbingan dan motivasi selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Ir. Suhariyanto, MT selaku kaprodi D3 Teknik Mesin FTI - ITS.
3. Ibu Liza Rusdiyana, ST, MT selaku koordinator Tugas Akhir D3 Teknik Mesin FTI-ITS.
4. Ir. Nur Husodo, MSc selaku Dosen Wali selama di D3 Teknik Mesin FTI-ITS.
5. Segenap Bapak/Ibu Dosen Pengajar dan Karyawan di Jurusan D3 Teknik Mesin FTI-ITS, yang telah memberikan banyak ilmu dan pengetahuan selama penulis menuntut ilmu di kampus ITS.
6. Tim Dosen Penguji yang telah banyak memberikan saran dan masukan guna kesempurnaan Tugas Akhir ini.

7. Orang tua tercinta Bapak dan Ibu serta kedua sodara yang selalu memberikan semangat, doa ,serta dukungan dalam bentuk apapun.
8. Teman – teman angkatan 2011,2012,dan 2013 atas kebersamaan dan kerjasamanya selama ini.
9. Yogik, Bagus, Izal, Rudy, Andy yang telah berbagi rasa suka, duka dan pengalaman dalam tim ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna, sehingga penulis mengharapkan adanya kritik dan saran dari berbagai pihak, yang dapat mengembangkan tugas akhir ini menjadi lebih baik dan sempurna. Akhir kata, semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi pembaca dan mahasiswa, khususnya mahasiswa Program studi Sarjana Teknik Mesin FTI-ITS dan D3 Teknik Mesin FTI-ITS.

Surabaya, Januari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	ii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Metodologi Penelitian	3
1.7 Sistematika Penulisan	4

BAB II DASAR TEORI

2.1 Definisi Pengelasan	5
2.1.1 Shielded Metal Arc Welding (SMAW)	5
2.1.2 Posisi Pengelasan	6
2.1.3 Kodefikasi Elektroda	8
2.1.4 Heat Input	9
2.1.5 Lebar HAZ	10
2.1.6 Siklus Thermal	12
2.2 Material	13
2.3 Perlakuan Panas	14
2.3.1 Stress Relieving	15
2.3.2 Normalizig	15
2.3.3 Anneling	16

2.3.4 Full Hardening.....	16
2.3.5 Tempering.....	19
2.4 Repair.....	20
2.5 Tensile Test	22
2.5.1 Kurva Tegangan-Regangan Teknik	24
2.6 Hardness Test.....	26
2.6.1 Pengujian Kekerasan Rockwell	27
2.7 Metalography Test.....	29
2.7.1 Struktur Mikro dan Makro Pada Base Metal, HAZ (Heat Affected Zone) dan Weld Wetal	31
2.7.2 Multilayer	33
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Flow Chart Penelitian	37
3.2 Waktu Pelaksanaan Penelitian.....	39
3.3 Tempat	39
3.4 Langkah kerja	39
3.4.1 Studi literatur	39
3.4.2 Persiapan Material.....	39
3.4.3 Pengelasan	41
3.4.4 Simulasi Kebakaran.....	42
3.4.5 Repair SMAW	43
3.4.6 Pengambilan Test Piece	44
3.4.7 Pengujian Tarik	44
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	
4.1 Heat Input	49
4.2 Tensile Test (Uji Tarik)	50
4.3 Hardness test	56
4.4 <i>Metalography Test</i> (Uji Metalografi)	61
4.4.1 Pengujian Makro.....	61
4.4.2 Lebar HAZ.....	62
4.4.3 Pengujian Mikro	66

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan 71

5.2 Saran 72

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BIODATA PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Proses pengelasan SMAW	6
Gambar 2.2	Posisi pengelasan 1G.....	6
Gambar 2.3	Posisi pengelasan 2G.....	7
Gambar 2.4	Posisi pengelasan 3G.....	7
Gambar 2.5	posisi pengelasan 4G.....	8
Gambar 2.6	Transformasi Fasa pada lasan	12
Gambar 2.7	Siklus Thermal Daerah Lasan	13
Gambar 2.8	Grafik Diagram Fasa Besi Karbon	17
Gambar 2.9	Struktur Ferrite.....	18
Gambar 2.10	Struktur Cementite	18
Gambar 2.11	Struktur Perlite	19
Gambar 2.12	Contoh Kurva ($F-\Delta\lambda$) Hasil Uji Tarik Untuk Baja (<i>ferrous</i>).....	22
Gambar 2.13	Prinsip Kerja <i>Rockwell</i>	28
Gambar 2.14	Pantulan Sinar Pada <i>Metalography Test</i>	30
Gambar 2.15	Karakteristik sambungan las pada logam murni Fe – Fe ₃ C.....	32
Gambar 2.16	Typical Heat Cycles 5 Δt 8/5 (Temperatur 800° – 500° / 300° C) Multi Layer.....	34
Gambar 2.17	Typical Heat Cycles 6 Δt 8/5 (Temperatur 800° – 500° / 300° C) Multi Layer.....	35
Gambar 3.1	Flow <i>Chart</i> Diagram.....	37
Gambar 3.2	<i>Flow Chart</i> Diagram (Lanjutan)	38
Gambar 3.3	Material SA 36	40
Gambar 3.4	Sudut Bevel Yang Digunakan.....	40
Gambar 3.5	Kampuh V 60°	41
Gambar 3.6	Proses Pengelasan	41
Gambar 3.7	Tank Ampere.....	42
Gambar 3.8	Proses Bevel	43
Gambar 3.9	Dimensi Spesimen	44
Gambar 3.10	Spesimen 700°C	45
Gambar 3.11	Spesimen 900°C.....	46

Gambar 3.12 Rockwell	46
Gambar 3.13 Alat dan bahan untuk proses etsa	47
Gambar 4.1 Grafik Yield Stress Rata-rata.....	51
Gambar 4.2 Grafik Tegangan Tarik	51
Gambar 4.3 L0 temperatur 700°C	52
Gambar 4.4 L1 temperatur 700°C	52
Gambar 4.5 L0 temperatur 900°C	53
Gambar 4.6 L1 temperatur 900°C	53
Gambar 4.7 Macam dan Sifat Patahan	54
Gambar 4.8 Bentuk dan daerah patahan berada di base metal temperature 700°C.....	54
Gambar 4.9 Bentuk dan daerah patahan berada di base metal temperatur 900°C	55
Gambar 4.10 Acuan daerah indentasi temperature 700°C.....	56
Gambar 4.11 Pengambilan Indentasi	56
Gambar 4.12 Bidang Hasil Indentasi Spesimen 700°C.....	57
Gambar 4.13 Grafik Nilai Indentasi Spesimen 700°C	58
Gambar 4.14 Acuan Titik Indentasi temperature 900°C	58
Gambar 4.15 Bidang Hasil Indentasi Spesimen 900°C.....	59
Gambar 4.16 Grafik Nilai Indentasi Spesimen 900°C	60
Gambar 4.17 Grafik erbandingan Nilai Kekerasan Suhu Kebakaran 700 C Dan 900 C.....	61
Gambar 4.18 Foto Makro 700°C.....	61
Gambar 4.19 Foto Makro 900°C	62
Gambar 4.20 Keterangan Garis.....	62
Gambar 4.21 Jajar Genjang	63
Gambar 4.22 Transformasi Fasa Pada Lasan	63
Gambar 4.23 Lebar HAZ Temperatur 700°C.....	65
Gambar 4.24 Lebar HAZ Temperatur 900°C.....	66
Gambar 4.25 Base metal 700°C pembesaran 1000X	66
Gambar 4.26 HAZ 700°C em besaran1000X	67
Gambar 4.27 Weld metal 700°C pembesaran 1000X	67
Gambar 4.28 Base metal 900°C em besaran 1000X	68
Gambar 4.29 HAZ 900°C em besaran 1000X.....	68
Gambar 4.30 Weld metal 900°C em besaran 1000X	69

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Hubungan Diameter Filler Dengan Kebutuhan Arus Listrik	9
Tabel 2.2	Nilai <i>Chemical Composition</i>	14
Table 2.3	<i>Mechanical Properties</i>	14
Tabel 2.4	Skala Uji Kekerasan <i>Rockwell</i>	29
Tabel 3.1	logam induk dan pengisi E 7016	42
Tabel 3.2	Parameter Pengelasan	43
Tabel 4.1	Nilai Besaran Heat Input	49
Tabel 4.2	Data Hasil Uji Tarik Tanpa Pemanasan	50
Tabel 4.3	Hasil <i>Tensile Test</i>	50
Tabel 4.4	Nilai Regangan	53
Tabel 4.5	Nilai Titik Indentasi(HRB) 700°C	57
Tabel 4.6	Nilai Titik Indentasi(HRB) Temperatur 900°C	59
Tabel 4.7	Nilai Titik Indentasi rata-rata	60
Tabel 4.8	Lebar HAZ	66

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Logam memegang peranan penting dalam perkembangan teknologi. Salah satu proses yang cukup penting ialah proses pengelasan. Seperti yang kita lihat pada saat ini mulai dari konstruksi. Hal lain yang dibutuhkan ialah dalam bidang pengelasan. Pengelasan biasanya kebanyakan dibutuhkan pada saat repair, seperti konstruksi bangunan, kapal, dan lain-lain. Dalam pembangunan gedung, konstruksi atap bangunan ada beberapa jenis material yang dapat digunakan, salah satunya adalah dengan menggunakan material baja. Pada fabrikasi konstruksi bangunan terdapat proses pengelasan. Proses pengelasan ini sangat perlu diperhatikan, karena hasil dari proses pengelasan itu sendiri berpengaruh pada sifat mekanis kekuatan tarik, dan kekerasan baik dari material maupun sambungannya.

Kebakaran sering kali terjadi dan merusak konstruksi bangunan. Pada saat terjadi kebakaran terjadi proses pemanasan disambungan las dan base metal. Kemungkinan terjadi perubahan sifat mekanik pasca kebakaran. Jadi proses repair pada sambungan diperlukan. Proses ini dilakukan untuk memperbaiki atau mengembalikan pada fungsi awal setelah kebakaran, yang kemudian disimulasikan dengan pemberian panas pada material sebesar 700°C dan 900°C .

Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisa hasil repair SMAW setelah pasca kebakaran, yang kemudian disimulasikan dengan suhu kebakaran temperature 700°C dan 900°C . Kemudian Sifat mekanis tersebut didapat dari 3 macam pengujian yaitu, uji tarik, uji etsa makro dan mikro.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka penelitian ini mempunyai rumusan masalah yang harus di selesaikan yaitu:

1. Bagaimana pengaruh kebakaran suhu 700°C dan 900°C terhadap sambungan las SMAW pada baja SA36 ?
2. Bagaimana pengaruh kebakaran suhu 700°C dan 900°C terhadap nilai kekerasan material baja SA36 ?
3. Bagaimana pengaruh kebakaran suhu 700°C dan 900°C terhadap struktur makro dan mikro pada material baja SA36 ?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan permasalahan dalam penelitian yang akan dilakukan antara lain:

1. Suhu kebakaran dilakukan pada temperatur 700°C dan 900°C, kampuh yang digunakan adalah single V groove 30°,
2. Menggunakan proses *SMAW* dengan posisi *1G* .
3. Material SA 36 dengan dimensi 110 x 300 mm (4 buah) dan tebal 10 mm menggunakan elektroda E7016 dengan diameter 3.2 mm, dan dengan arus 90 *ampere*.
4. Pengujian yang dilakukan adalah *Hardness Rockwell, metalography (Makroetsa)*, Uji tarik untuk *Base Metal HAZ* dan *Weld Metal*.
5. Pengujian dilakukan pada bagian *Base Metal, HAZ*, dan *Weld Metal*.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan dilakukanya penelitiannya ini adalah untuk:

1. Mengetahui daerah patahan serta kekuatan tarik yang terjadi dari hasil sambuga las baja SA36 pasc kbakaran.
2. Mengetahui variasi nilai kekerasan yang dihasilkan.
3. Mengetahui perbedaan struktur makro dan mikro yang terjadi.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah :

1. Memperkaya khasanah keilmuan teknik terutama dalam bidang pengujian logam, pengelasan, dan bahan teknik. Sehingga dapat meningkatkan pengetahuan baik untuk masyarakat umum maupun bagi juru las.
2. Memberikan kontribusi pada dunia akademis dan praktisi tentang pengaruh amper terhadap kekerasan dari material SA36 di daerah base metal, weld metal, dan HAZ.

1.6 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian yang digunakan penulis untuk mencapai tujuan penelitian Tugas Akhir ini adalah :

1. Studi Literatur

Untuk menambah wawasan perlu studi literatur dengan mempelajari buku-buku tentang pengelasan dan pengujian destructive test berupa uji kekerasan, makro etsa, mikro etsa, dan uji tarik atau karya ilmiah yang berhubungan dengan masalah yang dihadapi.

2. Konsultasi dengan Dosen Pembimbing

Dalam penulisan laporan penelitian ini perlu mengadakan konsultasi atau respon dengan dosen pembimbing.

3. Observasi Data

Melakukan observasi data-data terkait pengelasan dan benda kerja melalui internet dan dari hasil pengamatan langsung dengan masalah yang dihadapi di lapangan.

4. Analisa Data

Menganalisa hasil pengujian kekerasan, struktur mikro dan makro, dan tarik yang terjadi pada bagian logam hasil las, HAZ, dan Base Metal setelah dilakukan pengelesan dengan variasi amper menggunakan buku-buku pedoman.

5. Membuat Kesimpulan

Setelah menyelesaikan laporan tugas akhir dapat diambil kesimpulan tentang hasil dari proses dan analisa tersebut.

1.7 Sistematika Penulisan

Agar hasil pemikiran penulis dapat dimengerti dan dipahami secara keseluruhan, maka penulisan tugas akhir ini akan ditulis menurut sistematika penulisan secara umum yaitu:

- **BAB I PENDAHULUAN**

Pada BAB I menjelaskan tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

- **BAB II DASAR TOERI**

Pada BAB II ini menjelaskan tentang teori-teori yang menunjang pelaksanaan penelitian.

- **BAB III METODOLOGI**

Pada BAB III menjelaskan metodologi penelitian, diagram langkah penelitian, spesifikasi, dan langkah proses pengujian-pengujian yang dilakukan.

- **BAB IV HASIL DAN ANALISA**

Pada BAB IV akan dibahas mengenai hasil pengujian kekerasan yang diambil pada base metal, weld metal, dan HAZ dengan titik-titik yang berbeda.

- **BAB V KESIMPULAN**

Pada BAB V berisi kesimpulan hasil penelitian dan saran-sarankonstruktif untuk penelitian selanjutnya.

- **DAFTAR PUSTAKA**

- **LAMPIRAN**

BAB II

DASAR TEORI

2.1 Definisi Pengelasan

Pengelasan (welding) adalah proses penyambungan dua atau lebih benda logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam penambah dan menghasilkan sambungan yang kontinyu.

DIN(Deutch Industrie Normen) las adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair.

Proses penyambungan lain yang telah dikenal lama selain pengelasan adalah penyambungan dengan cara *Brazing* dan *Soldering*. Perbedaanya dengan pengelasan adalah tidak sampai mencairkan logam induk tetapi hanya logam pengisinya saja. Sedangkan perbedaan antara *Brazing* dan *Soldering* adalah pada titik cair logam pengisinya. Proses *Brazing* berkisar $450^{\circ}\text{C} - 900^{\circ}\text{C}$, sedangkan untuk *Soldering*, titik cair logam pengisinya kurang dari 450°C .

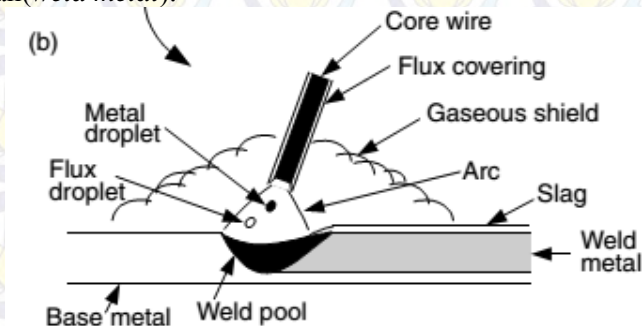
2.1.1 Shielded Metal Arc Welding (SMAW)

SMAW adalah proses pengelasan yang menggunakan panas untuk mencairkan material dasar atau logam induk dan elektroda(logam pengisi). Panas tersebut dihasilkan oleh lonjakan ion listrik yang terjadi antara katoda dan anoda (ujung elektroda dan permukaan plat yang akan di las).

Bagian ujung elektroda, busur, cairan logam las dan daerah-daerah yang berdekatan dengan benda kerja, dilindungi dari pengaruh atmosfer oleh gas pelindung yang terbentuk dari hasil pembakaran lapisan pembungkus elektroda. Perlindungan tambahan untuk cairan logam las diberikan oleh cairan logam *flux* atau *slag* yang terbentuk. *Filler* metal atau logam tambahan disuplai oleh inti kawat elektroda terumpan

atau pada elektroda elektroda tertentu juga berasal dari serbuk besi yang di campur dengan lapisan pembungkus elektroda.

Panas yang dihasilkan dari lompatan ion listrik ini besarnya dapat mencapai 4000°C sampai 4500°C . Sumber tegangan yang digunakan pada pengelasan SMAW ini ada dua macam AC(arus bolak balik) dan DC(arus searah). Panas akan mencairkan *filler* dan matrial dasar, sehingga logam cair dari filler dan matrial dasar menyatu dan membentuk logam lasan(*weld metal*).

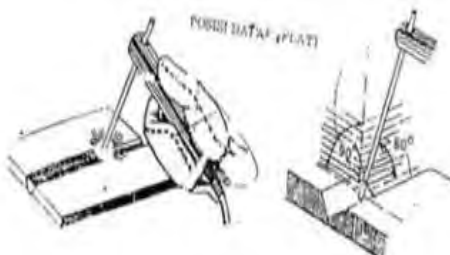


Gambar 2.1 Proses Pengelasan SMAW

2.1.2 Posisi Pada Pengelasan

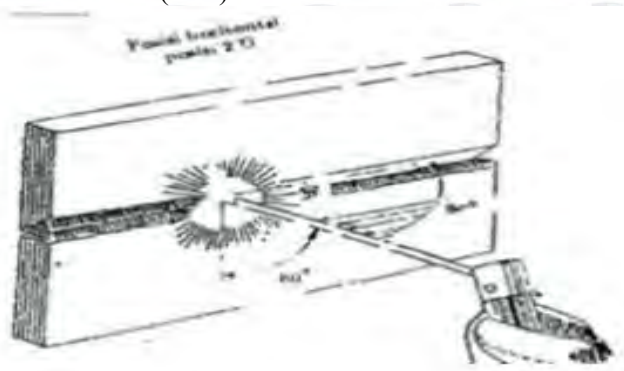
Posisi pada pengelasan atau sikap pengelasan adalah pengaturan posisi dan gerakan arah dari pada elektroda sewaktu mengelas. Adapun posisi terdiri dari 4 macam yaitu:

- Posisi (1G)



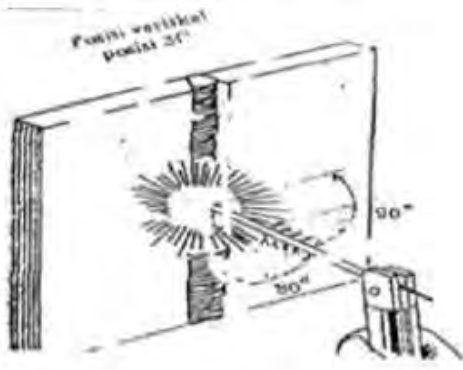
Gambar 2.2 Posisi Pengelasan 1G

- Posisi (2G)



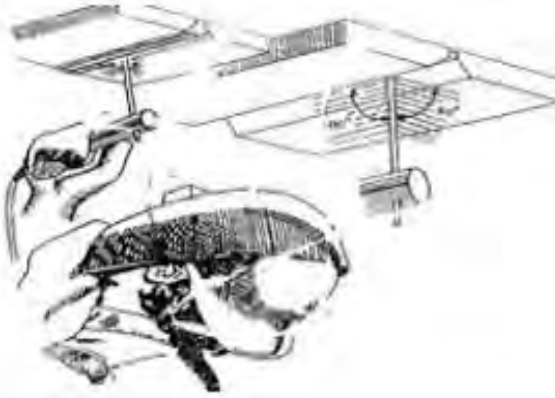
Gambar 2.3 Posisi Pengelasan 2G

- Posisi (3G)



Gambar 2.4 Posisi Pengelasan 3G

- Posisi (4G)



Gambar 2.5 Posisi Pengelasan 4G

2.1.3 Kodefikasi Elektroda

Elektroda terdiri dari dua jenis bagian yaitu bagian yang bersalut (*fluks*) dan tidak bersalut yang merupakan pakal untuk menjepitkan tang las. Fungsi *fluks* atau lapisan elektroda dalam las adalah untuk melindungi logam cair dari lingkungan udara menghasilkan gas pelindung, menstabilkan busur, sumber unsur paduan.

Bahan elektroda harus mempunyai kesamaan sifat dengan logam. Pemilihan elektroda harus benar-benar diperhatikan apabila kekuatan las diharuskan sama dengan kekuatan material. Penggolongan elektroda diatur berdasarkan standart sistem AWS (*American Welding Society*) dan ASTM (*American Society Testing Material*).

Adapun Kodefikasi dari elektroda sebagai berikut

Seperti : E XX X X

E : Menyatakan elektroda busur listrik.

XX : Menyatakan kekuatan tarik deposit las dalam lb/in.

- X** : Menyatakan posisi pengelasan.
X : Menyatakan jenis selaput atau gas pelindung dan jenis arus yang cocok dipakai untuk pengelasan.

2.1.4 Heat Input

Input panas adalah besarnya energi panas tiap satuan panjang las ketika sumber panas bergerak. Input panas (H), dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut.

$$H = \frac{P}{V} = \frac{E \cdot I}{V}$$

dimana,

H : Heat Input (joule/mm)

P : Tenaga input (watt)

E : Potensial listrik (volt)

I : Arus listrik (amper)

v : Kecepatan Las (mm/s)

Tabel 2.1 Hubungan Diameter Filler Dengan Kebutuhan Arus Listrik

Diameter Electroda(mm)	Arus(Ampere)
2.5	60 – 90
2.6	60 – 90
3.2	80 – 140
4.0	150 – 190
5.0	180 – 250

Input panas juga mempengaruhi bentuk penampang lintang lasan (bead on plate) yang meliputi besarnya permukaan logam induk yang mencair, permukaan bahan pengisi dan HAZ. Fungsi utama sumber panas pada las cair (fusion welding) adalah untuk mencairkan logam, yang mempunyai dua pengaruh, yaitu; pada pembentukan struktur

mikro las dan juga menimbulkan siklus termal daerah lasan yang masing-masing akan dijelaskan sebagai berikut.

2.1.5 Lebar HAZ

Lebar HAZ tergantung dari beberapa factor salah satunya *heat input*

Untuk mempermudah membandingkan data dari lebar HAZ maka data akan diolah terlebih dahulu melalui rumus berikut.

$$\frac{1}{T_p - T_0} = \frac{4,13 \cdot \rho C \cdot t \cdot y}{H_{net}} + \frac{1}{T_m - T_0}$$

Didapat dari :

$$\frac{1}{A} = \frac{CY}{H_{input}} \frac{1}{B}$$

$$\frac{1}{A} - \frac{1}{B} = \frac{CY}{H_{input}}$$

$$CY = \frac{H_{input}}{A - B}$$

Y=Lebar HAZ

Keterangan:

H_{net} = $H_{input} \times f$ (efisiensi perpindahan kalor)

T_0 = Temperatur awal pengelasan

T_p = Temperatur batas Haz dan Base Metal

T_m = Temperatur Melting

ρC = $0,0044 \text{ J/mm}^3 \cdot ^\circ\text{C}$

t = tebal plat

y = Lebar HAZ

$f1$ = $0,8 - 1$ (80% - 100%)

dimana f_1 adalah efisiensi perpindahan kalor untuk las busur electrode.

Diketahui :

Parameter pengelasan

- $E = 27$ volt
- Arus = 90 A
- $V = 1,16$ mm/s
- $T_p =$ diasumsikan 1025°C

$$H_{\text{nett}} = \frac{f_1 \cdot E \cdot I}{V}$$

$$= \frac{0,8 \cdot 27 \cdot 90}{2} = 972 \text{ joule/mm}$$

Lebar HAZ :

$$\frac{1}{T_p - T_0} = \frac{4,13(0,0044) \cdot 10 \cdot Y}{972} + \frac{1}{1510 - 25}$$

$$\frac{1}{730^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}} = \frac{4,13(0,0044) \cdot 10 \cdot Y}{972} + \frac{1}{1510^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}}$$

$$\frac{1}{730^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}} = \frac{4,13(0,0044)10 \cdot Y}{1675,8} + \frac{1}{1485}$$

$$\frac{1}{705^\circ\text{C}} = \frac{4,13(0,0044) \cdot 10 \cdot Y}{972} + \frac{1}{1485}$$

$$\frac{1}{705^\circ\text{C}} = \frac{0,181 \cdot Y}{972} + \frac{1}{1485}$$

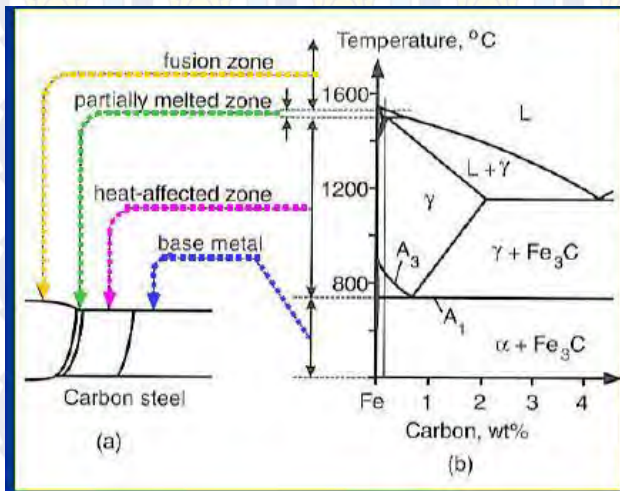
$$\frac{0,181 Y(1485) + 972}{1.443.420}$$

$$\frac{1}{705^\circ\text{C}} = \frac{268,785 \cdot Y + 972}{1.443.420}$$

$$2.488.563 = 705 (268,785 \cdot Y + 972)$$

$$2.488.563 = 189.493,4 \cdot Y + 68.260$$

$$Y = \frac{758.160}{189.493,4} = 4mm$$

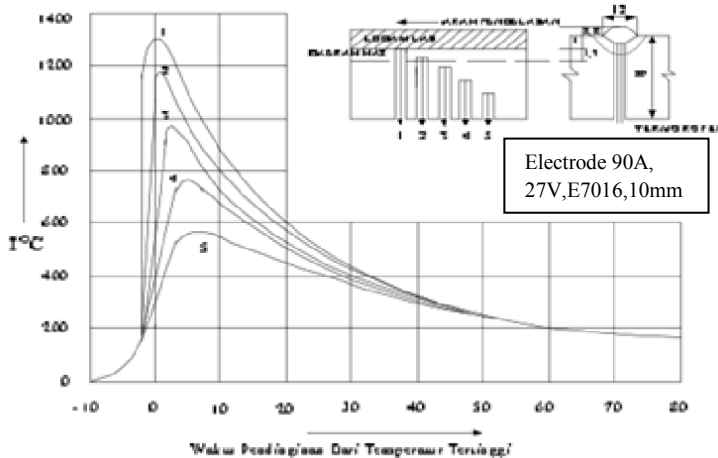


Gambar 2.6 Transformasi Fasa pada lasan

2.1.6 Siklus Thermal

Selama pengelasan berlangsung, logam las dan daerah pengaruh panas atau heat affected zone (HAZ) akan mengalami serangkaian siklus thermal, yaitu pemanasan sampai mencapai suhu maksimum kemudian diikuti dengan pendinginan. Siklus Thermal tersebut mempengaruhi struktur mikro logam las Dan HAZ, di mana logam las akan mengalami serangkaian transformasi fasa selama proses pendinginan, yaitu dari Logam las cair berubah menjadi Ferit- δ kemudian γ (Austenit) dan akhirnya menjadi α (Ferrit). Pada umumnya waktu (cooling time) antara temperature 800°C – 500°C dipakai sebagai acuan pada pengelasan baja karbon,

karena pada interval suhu tersebut terjadi transformasi fasa dari Austenit (γ) menjadi Ferrite atau Bainite yang tergantung pada kecepatan pendinginannya. Besarnya waktu pendinginan dapat dihitung dengan persamaan berikut



Gambar 2.7 Siklus Thermal Daerah lasan

2.2 Material

Berdasarkan kandungan karbonnya, baja diklasifikasi menjadi :

- Baja karbon rendah 0,1% - 0,3% karbon
- Baja medium 0,3% - 0,85% karbon
- Baja karbon tinggi 0,85% - 1,3% karbon

Struktur yang dimiliki oleh baja biasanya dipengaruhi oleh kandungan karbonnya. Pada baja karbon rendah, struktur didominasi oleh *ferit* dan diikuti oleh sedikit *perlit*. Pada baja karbon tinggi struktur didominasi oleh perlit dengan sedikit *cementite*. Sedangkan pada baja medium, struktur baja terdiri dari *ferit* dan *pearlit* dengan perbandingan tergantung pada kandungan karbonnya. Semakin tinggi karbon maka semakin banyak *pearlite*.

Material yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah jenis material SA36 dimana material ini memiliki kandungan komposisi kimia dan sifat mekanik yaitu, ditunjukkan pada tabel 2.1- tabel 2.2.

Tabel 2.2 Nilai *Chemical Composition*

SA 36						
Chemical Composition						
C	Mn	Cu	Fe	P	Si	S
0,25 %	1,03 %	0,20 %	98,0 %	0,04 %	0,28 %	0,05 %

Tabel 2.3 *Mechanical Properties*

SA 36	
<i>Tensile Strenght</i>	<i>Yield Point</i>
400 – 550 MPa	250 MPa

2.3 Perlakuan Panas

Heat Treatment merupakan proses memanaskan dan mendinginkan suatu bahan untuk mendapatkan perubahan fasa (struktur) guna meningkatkan kemampuan bahan tersebut sehingga bertambah daya guna teknik dari bahan tersebut. Ada beberapa macam *Heat treatment* :

- Stress Relieving
- Normalizing
- Anneling
- Full Hardening

- Tempering

2.3.1 Stress Relieving

Besi/baja akan mengalami tegangan dalam akibat dari pemanasan atau pendinginan yang tidak kontinue akibat dari tuang, las maupun tempa, atau karena pengepresan, tekuk, tekan, maupun juga karena proses potong. Karena jika tegangan dalam ini tidak dihilangkan akan mengganggu proses selanjutnya misalnya rentan terjadinya keretakan maupun penyusutan pada proses pemanasan lanjutan.

Prinsip dari pemanasan ini adalah memanaskan besi/baja sampai temperatur di bawah titik ubah A₁ (pada diagram FEC) kemudian didinginkan perlahan-lahan. Untuk pemanasan Stress Relieving pada baja idealnya 550 °C sampai 650 °C yang dipertahankan selama 3 jam atau sesuai dengan tebal dari baja.

Jika proses pendinginan terlalu cepat malahan akan timbul tegangan baru, semuanya itu dapat dicegah dengan cara pendinginan dalam dapur / oven sampai suhu 400 °C dan jika dapur/oven tidak ada pelindung oksidasi (dengan gas Nitrogen) maka baja yang dipanaskan harus dibungkus/ dikubur dengan tatal dari besi tuang supaya tidak terjadi oksidasi karena pertemuan dengan gas oksigen.

2.3.2 Normalizing

Proses normalizing bertujuan untuk memperbaiki dan menghilangkan struktur butiran kasar dan ketidak seragaman struktur dalam baja menjadi berstruktur yang normal kembali yang otomatis mengembalikan keuletan baja lagi.

Struktur butiran kasar terbentuk karena waktu pemanasan dengan temperatur tinggi atau di daerah austenit yang menyebabkan baja berstruktur butiran kasar.

Sedangkan penyebab dari ketidak seragaman struktur karena :

- pengerjaan rol atau tempa

- pengerjaan las atau potong las
- temperatur pengerasan yang terlalu tinggi
- menahan terlalu lama di daerah austenit
- Pengepresan, penglubangan dengan punch, penarikan

Pada proses normalizing ini baja di panaskan secara pelan-pelan sampai suhu 20 °C sampai 30 °C diatas suhu pengerasan, ditahan sebentar lalu didinginkan dengan perlahan dan kontinue. Proses normalizing ini dilakukan juga sebelum kita melakukan proses Soft annealing

2.3.3 Annealing

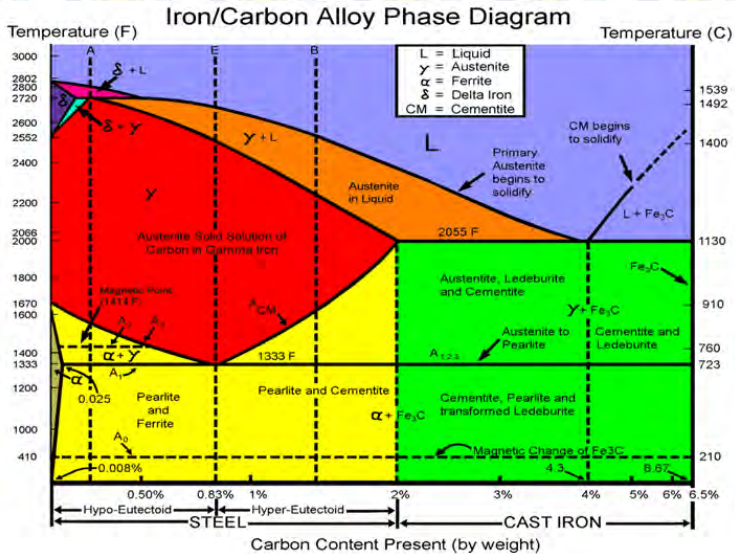
Proses annealing bertujuan untuk melunakkan besi atau baja sehingga dapat dengan mudah dilakukan proses permesinan dan dapat dengan mudah dilakukan pengerasan lagi dengan resiko keretakan yang kecil. Proses soft annealing ini dapat dilakukan dengan 2 cara :

- Benda kerja dipanaskan secara merata sampai temperatur titik ubah A1 (diatas 721 °C) ditahan sebentar supaya suhu pada inti benda kerja sama dengan suhu pada permukaan benda kerja, lalu didinginkan di oven agar pendinginan dapat berlangsung secara teratur.
- Benda kerja dipanaskan dibawah titik ubah atau hampir menyentuh titik ubah lalu ditahan dengan waktu yang lama 2sampai 20 jam, baru didinginkan secara teratur. Tidak seperti cara pertama, pada cara kedua ini kecepatan pendinginan disini tidak mempunyai pengaruh apapun.

2.3.4 Full Hardening

Untuk memenuhi tuntutan fungsi seperti harus keras, tahan gesekan atau beban kerja yang berat, maka baja harus dikeraskan melalui proses pengerasan.Prinsip dari full

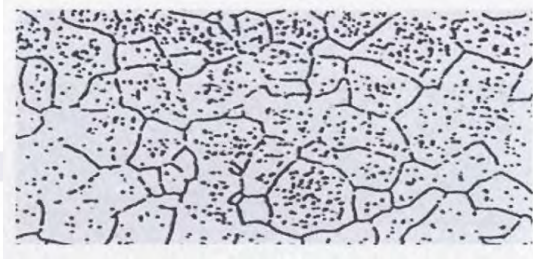
hardening adalah memanaskan baja sampai titik temperatur austenit kemudian didinginkan secara memdadak / quenching dengan kecepatan pendinginan diatas kecepatan pendinginan kritis agar terjadi pembentukan martensit dan diperoleh kekerasan yang tinggi.



Gambar 2.8 Grafik Diagram Fasa Besi Karbon

A. Ferrit (disimbolkan dengan α)

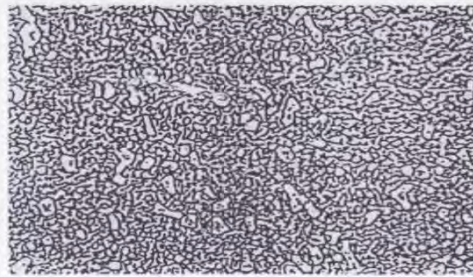
Memiliki bentuk sel satuan BCC, terbentuk pada proses pendinginan lambat dari *austenite* baja *hipoeuctoid* (baja dengan kandungan karbon < 0,8%), bersifat lunak, ulet, memiliki kekerasan (70-100) BHN dan konduktivitas thermalnya tinggi.



Gambar 2.9 Struktur Ferrite

B. *Cementit* (disimbolkan dengan Fe_3C)

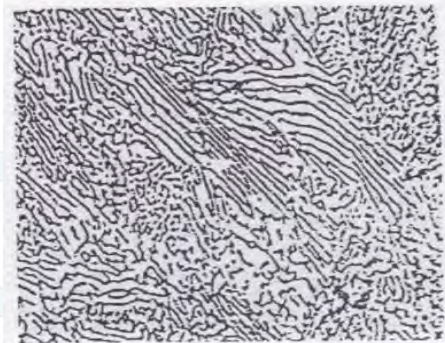
Adalah senyawa besi dengan karbon, umumnya dikenal sebagai karbida besi dengan rumus kimia Fe_3C , bentuk sel satuannya *ortorombik*, dan bersifat keras (65-68) HRC.



Gambar 2.10 Struktur Cementite

C. *Perlit* (disimbolkan dengan $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$)

Adalah campuran *ferit* dan *cementit* berlapis dalam suatu struktur butir, memiliki nilai kekerasan (10-30) HRC. Pendinginan lambat menghasilkan *perlit* kasar, sedangkan struktur mikro *perlit* halus terbentuk dari hasil pendinginan cepat. Baja yang memiliki struktur mikro *perlit* kasar kekuatannya lebih rendah bila dibandingkan dengan baja yang memiliki struktur mikro *perlit* halus.



Gambar 2.11 Struktur Perlite

Besarnya Temperatur pemanasan austenit tergantung dari jenis baja, dan biasanya tiap-tiap produsen sudah mengeluarkan diagram suhunya masing-masing.

2.3.5 Tempering

Setelah proses hardening biasanya baja akan sangat keras dan bersifat rapuh, untuk itu perlu proses lanjutan yaitu proses tempering.

Tempering ini bertujuan untuk :

- Mengurangi kekerasan
- Mengurangi tegangan dalam
- Memperbaiki susunan struktur Baja

Prinsip dari tempering adalah baja dikeraskan sampai temperature dibawah A_1 (diagram FeC) ditahan selama 1 jam/ 25 mm tebal baja, lalu didinginkan di udara dan pada suhu 300-400 °C dapat di quenching dengan media oli atau dapat juga didinginkan di udara. Secara kimia selama tempering yang terjadi adalah atom C yang setelah proses hardening terperangkap pada jaringan besi Alfa dan pada proses pemanasan tempering atom C mendapat kesempatan untuk

melakukan diffuse yaitu pemerataan kadar C tanpa adanya halangan dan kembali menjadi Zementit.

Proses ini berlangsung terus sehingga diperoleh struktur ferrite yang bercampur dengan zementit, dan diperoleh struktur yang ulet.

2.4 Repair

repair welding merupakan perbaikan dengan menggunakan teknik pengelasan. Tujuan dari *repair welding* adalah untuk memperbaiki bentuk satu konstruksi yang mengalami kerusakan agar menjadi sama seperti bentuk dan fungsi benda asalnya dan memiliki sifat yang sama sebagai mana logam dasarnya. Berbeda halnya dengan *product welding*, yaitu pembuatan produk dari bahan mentah atau logam dasar (*wrought metal*) menjadi satu bentuk konstruksi yang baru, sehingga memiliki fungsi baru yang berbeda dari bahan asal sebelum dilakukan pengelasan. Kegiatan *welding* atau pengelasan, umumnya digunakan pada logam dasar (*wrought metal*) yang sudah melalui proses *rolling*, tempa maupun proses lainnya. Akan tetapi, dalam aplikasinya proses *beling* dapat juga dilakukan pada *cast metal* atau *cast metal alloy*. Proses *beling* yang dilakukan pada *cast metal* sering dilakukan pada produk hasil pemesinan yang mengalami cacat akibat kesalahan proses pemesinan (*machining*) dengan mesin perkakas. Seperti kesalahan pada letak lubang pengeboran, kesalahan penyayatan dan kesalahan akibat benturan maupun yang disebabkan kesalahan manusia itu sendiri. Untuk menghindari terjadinya retak pada las maka logam yang akan dilas dapat diberikan pemanasan mula (*preheat*), sedangkan untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu yang diperlukan untuk suatu konstruksi, seperti kekuatan (*strength*), kelunakan (*softness*), memperhalus ukuran butir logam lasan dapat diberikan proses pemanasan lanjut.

Secara garis besar material mempunyai sifat – sifat yang membedakannya dengan material lainnya, pada bidang teknik mesin umumnya sifat tersebut dibagi menjadi tiga sifat. Sifat – sifat itu akan mendasari dalam pemilihan material, sifat

tersebut adalah sifat mekanik, sifat fisik, dan sifat teknologi. Namun dalam bahasan disini hanya akan dijelaskan mengenai sifat fisik dan mekanik saja karena pengujian yang akan dilakukan hanyalah mengenai kedua sifat tersebut. Sifat mekanik material, merupakan salah satu faktor terpenting yang mendasari pemilihan bahan dalam suatu perancangan. Sifat mekanik dapat diartikan sebagai respon atau perilaku material terhadap pembebanan yang diberikan, dapat berupa gaya, torsi atau gabungan keduanya. Dalam prakteknya pembebanan pada material terbagi dua yaitu.

beban statik dan beban dinamik. Perbedaan antara keduanya hanya pada fungsi waktu dimana beban statik tidak dipengaruhi oleh fungsi waktu sedangkan beban dinamik dipengaruhi oleh fungsi waktu. Untuk mendapatkan sifat mekanik material, biasanya dilakukan pengujian mekanik. Pengujian mekanik pada dasarnya bersifat merusak (*destructive test*), dari pengujian tersebut akan dihasilkan kurva atau data yang mencirikan keadaan dari material tersebut. Setiap material yang diuji dibuat dalam bentuk sampel kecil atau spesimen. Spesimen pengujian dapat mewakili seluruh material apabila berasal dari jenis, komposisi dan perlakuan yang sama. Pengujian yang tepat hanya didapatkan pada material uji yang memenuhi aspek ketepatan pengukuran, kemampuan mesin, kualitas atau jumlah cacat pada material dan ketelitian dalam membuat spesimen. Sifat mekanik tersebut meliputi antara lain: kekuatan tarik, ketangguhan, kelenturan, keuletan, kekerasan, ketahanan aus, kekuatan dampak, kekuatan mulur, kekuatan leleh dan sebagainya.

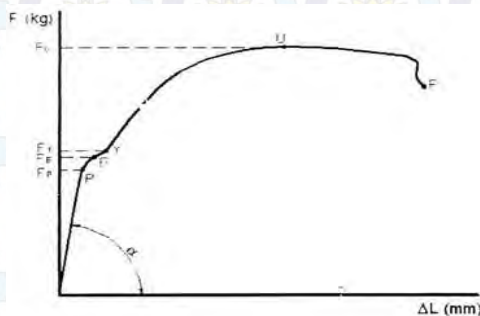
Sifat penting yang kedua dalam pemilihan material adalah sifat fisik. Sifat fisik adalah kelakuan atau sifat-sifat material yang bukan disebabkan oleh pembebanan seperti pengaruh pemanasan, pendinginan dan pengaruh arus listrik yang lebih mengarah pada struktur material. Sifat fisik material antara lain: temperatur cair, konduktivitas panas dan panas spesifik. Struktur material sangat erat hubungannya dengan sifat

mekanik. Sifat mekanik dapat diatur dengan serangkaian proses perlakuan fisik. Dengan adanya perlakuan fisik akan membawa penyempurnaan dan pengembangan material bahkan penemuan material baru.

2.5 Tensile Test

Kekuatan tarik merupakan sifat mekanik yang penting, terutama untuk perencanaan konstruksi maupun perencanaan logam. Kekuatan suatu bahan dapat diketahui dengan melakukan uji tarik pada bahan yang bersangkutan. Dari pengujian tarik tersebut dapat pula diketahui sifat-sifat antara lain: kekuatan mulur (*yield strength*), panjang (*elongation*), reduksi penampang (*reduction area*), modulus elastisitas (*modulus young*) dan ketangguhan (*toughnes*).

Pada pengujian tarik dipakai benda uji standar yang dicekam pada sebuah mesin penguji, kemudian benda tersebut ditarik dengan kecepatan pembebanan tertentu. Selama proses penarikan ini mesin akan menunjukkan diagram seperti pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.12 Contoh Kurva ($F-\Delta L$) Hasil Uji Tarik Untuk Baja (*ferrous*)

Dari gambar di atas terlihat bahwa untuk baja karbon rendah pada saat penarikan sampai beban F_p , penambahan panjang yang terjadi sebanding dengan beban

yang dikenakan. jika benda uji ditarik oleh kekuatan yang tidak melebihi batas ini maka benda uji tersebut akan mengalami deformasi elastis, yang berarti benda tersebut akan kembali ke panjang semula setelah tegangan dihilangkan. Jika tegangan yang diberikan lebih besar maka benda tersebut akan mengalami deformasi plastis.

Tegangan yang diberikan pada saat spesimen menerima beban F_p tersebut berdasarkan luas penampang semula adalah:

$$\sigma_p = \frac{F_p}{A_0} (\text{kgf/mm}^2)$$

Titik ini disebut pula dengan batas proporsional /*proposional limit*. Karena pada batas tersebut hubungan antara $F-\Delta\lambda$ adalah sebanding maka grafiknya berupa garis lurus. Dan pada daerah ini berlaku hukum *Hooke* yaitu:

$$\sigma = E \epsilon$$

dimana:

- ζ = Tegangan (kg/mm^2)
- E = Modulus elastisitas (kg/mm^2)
- ϵ = Regangan (mm/mm)

Pada saat perpindahan dari garis lurus menuju ke kurva terjadi pertambahan panjang tanpa adanya pertambahan beban yang berarti, posisi ini dinamakan saat luluh atau *yield point*.

Kebanyakan logam titik luluh ini tidak tampak jelas. Oleh sebab itu penentuan titik luluh sangat tergantung dari pada alat ukur yang digunakan. Semakin teliti maka akan semakin rendah titik luluhnya. Untuk menyeragamkan

interpretasi, maka diambil kesepakatan yaitu: luluh terjadi pada saat deformasi permanen mencapai batas tertentu. Adapun batas deformasi permanen/ plastis yang sering digunakan adalah 0,1% dan 0,2%. Untuk menentukan tegangan yang bersesuaian dengan deformasi permanent tersebut dapat dilakukan dengan menarik garis lurus dari titik regangan sebesar 0,1% atau 0,2% sejajar dengan bagian linier dari kurva tegangan-regangan.

Sampai dengan tegangan maksimum, deformasi terjadi secara homogen sepanjang spesimen. Setelah mencapai tegangan maksimum, pada logam yang ulet akan terjadi pengecilan penampang setempat (*necking*), dimana pertambahan panjang lokal terjadi dibarengi dengan penurunan beban/tegangan. Selanjutnya spesimen akan patah dibawah posisi maksimum. Pada logam getas, titik F akan patah pada saat beban maksimum.

2.5.1 Kurva Tegangan-Regangan Teknik

Dari diagram uji tarik (kurva $F-\Delta\lambda$) dapat ditransformasikan menjadi kurva tegangan-regangan teknik dengan hubungan sebagai berikut:

dimana:

$$\sigma_t = \frac{F}{A_0}$$

$$\epsilon_t = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} \times 100\%$$

• σ_t = Tegangan teknik (kgf/mm^2)

• F = Beban (kg)

• A_0 = Luas penampang awal (mm^2)

• ϵ_t = Regangan teknik (%)

• $\Delta\lambda$ = Panjang (mm)

• λ = Panjang awal specimen (mm)

a. Batas elastis σ_e (*elastic limit*)

Dinyatakan dengan titik A. Bila sebuah bahan diberi beban sampai pada titik A, kemudian bebannya dihilangkan, maka bahan tersebut akan kembali ke kondisi semula (tepatnya *hampir kembali ke kondisi semula*) yaitu regangan “nol” pada titik O (lihat inset dalam Gbr.5). Tetapi bila beban ditarik sampai melewati titik A, terdapat perubahan permanen dari bahan. Terdapat konvensi batas regangan permanen (*permanent strain*) sehingga masih disebut perubahan elastis yaitu kurang dari 0.03%, tetapi sebagian referensi menyebutkan 0.005%. Tidak ada standarisasi yang universal mengenai nilai ini.

b. Batas proporsional σ_p (*proportional limit*)

Titik sampai di mana penerapan hukum Hook masih bisa ditolerir. Tidak ada standarisasi tentang nilai ini. Dalam praktek, biasanya batas proporsional sama dengan batas elastis.

c. Deformasi plastis (*plastic deformation*)

Yaitu perubahan bentuk yang tidak kembali ke keadaan semula. Pada Gbr.5 yaitu bila bahan ditarik sampai melewati batas proporsional dan mencapai daerah *landing*.

d. Tegangan luluh atas σ_{uy} (*upper yield stress*)

Tegangan maksimum sebelum bahan memasuki fase daerah landing peralihan deformasi elastis ke plastis.

e. Tegangan luluh bawah σ_{ly} (*lower yield stress*)

Tegangan rata-rata daerah *landing* sebelum benar-benar memasuki fase deformasi plastis. Bila hanya disebutkan tegangan luluh (*yield stress*), maka yang dimaksud adalah tegangan ini.

f. Regangan luluh ϵ_y (yield strain)

Regangan permanen saat bahan akan memasuki fase deformasi plastis.

g. Regangan elastis ϵ_e (elastic strain)

Regangan yang diakibatkan perubahan elastis bahan. Pada saat beban dilepaskan regangan ini akan kembali ke posisi semula.

h. Regangan plastis ϵ_p (plastic strain)

Regangan yang diakibatkan perubahan plastis. Pada saat beban dilepaskan regangan ini tetap tinggal sebagai perubahan permanen bahan.

i. Regangan total (total strain)

Merupakan gabungan regangan plastis dan regangan elastis, $\epsilon_T = \epsilon_e + \epsilon_p$. Perhatikan beban dengan arah OABE. Pada titik B, regangan yang ada adalah regangan total. Ketika beban dilepaskan, posisi regangan ada pada titik E dan besar regangan yang tinggal (OE) adalah regangan plastis.

j. Tegangan tarik maksimum TTM (UTS , ultimate tensile strength)

Ditunjukkan dengan titik C (ζ_B), merupakan besar tegangan maksimum yang didapatkan dalam uji tarik.

k. Kekuatan patah (breaking strength)

Ditunjukkan dengan titik D, merupakan besar tegangan di mana bahan yang diuji putus atau patah.

2.6 Hardness Test

Kekerasan suatu bahan adalah kemampuan sebuah material untuk menerima beban tanpa mengalami deformasi plastis yaitu tahan terhadap indentasi, tahan terhadap penggosokan, tahan terhadap aus, tahan terhadap pengikisan

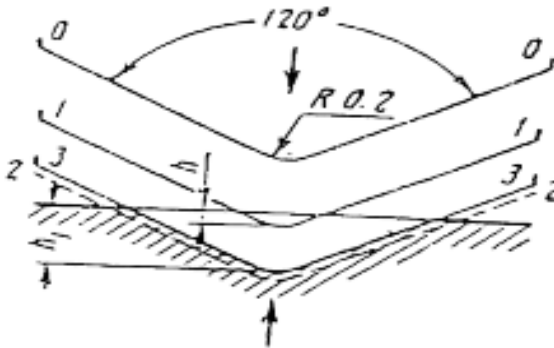
(abrasi). Kekerasan suatu bahan merupakan sifat mekanik yang paling penting, karena kekerasan dapat digunakan untuk mengetahui sifat-sifat mekanik yang lain, yaitu strength (kekuatan). Bahkan nilai kekuatan tarik yang dimiliki suatu material dapat dikonversi dari kekerasannya. Ada beberapa metode pengujian kekerasan yang digunakan untuk menguji kekerasan logam, yaitu :

1. Metode Pengujian Kekerasan Brinell
2. Metode Pengujian Kekerasan Vickers
3. Metode Pengujian Kekerasan Rockwell

Dari ketiga metode tersebut yang sering digunakan hanya dua saja, *Brinell* dan *vickers*, namun pada penelitian kali ini akan menggunakan, metode *Rockwell*.

2.6.1 Pengujian kekerasan *Rockwell*

Pada pengujian kekerasan rockwell, angka kekerasan yang di peroleh merupakan fungsi dari kedalaman indentasi pada specimen akibat pembebanan statis. Pada pengujian dengan metode rockwell dapat digunakan dua bentuk indendtor, yaitu berbentuk bola dari baja yang dikeraskan dengan berbagai diameter, dan bentuk kerucut dari intan (*diamond cone*). Beban yang diberikan pada saat indentasi disesuaikan dengan bentuk dan dimensi indenter, seperti tercantum pada tabel 2.1. pengujian ini banyak dilakukan di industri karena pelaksanaanya lebih cepat, dimana angka kekerasan specimen uji dapat dibaca langsung pada mesin



Gambar 2.13 Prinsip Kerja *Rockwell*

Keterangan :

0-0 Posisi sebelum indentasi

1-1 Penetrasi pada saat beban awal P_1

2-2 Penetrasi pada saat beban penuh ($P_1 + P$)

3-3 Penetrasi setelah beban utama dilepas P_1

Angka kekerasan Rockwell tidak bersatuan, tetapi dengan satu huruf depan seperti pada tabel 2.1 yang menyatakan kondisi pengujian. Angka skala pada mesin terdiri dari dua skala, yaitu merah dan hitam, berbeda 30 angka kekerasan. Skala Rockwell terbagi 100 divisi, dimana setiap divisi sebanding dengan kedalaman indentasi 0,002 mm. Angka kekerasan Rockwell B dan Rockwell C dinyatakan sebagai kedalaman indentasi (h_1) dapat ditulis sebagai berikut.

$$R_b = 130 - \frac{\text{Kedalaman indentasi (mm)}}{0,002}$$

$$R_c = 100 - \frac{\text{kedalaman indentasi (mm)}}{0,002}$$

Table 2.4 Skala Uji Kekerasan *Rockwell*

Skala	Penekan	Beban			Skala Kekerasan	Warna Angka
		Awal	Utama	Jumlah		
A	Kerucut intan 120°	10	50	60	100	Hitam
B	Bola baja 1,558 mm (1/16")	10	90	100	130	Merah
C	Kerucut intan 120°	10	140	150	100	Hitam
D	Kerucut intan 120°	10	90	100	100	Hitam
E	Bola baja 3,175 mm (1/8")	10	90	100	130	Merah
F	Bola baja 1,558 mm	10	50	60	130	Merah
G	Bola baja 1,558 mm	10	140	150	130	Merah
H	Bola baja 3,175 mm	10	50	60	130	Merah
K	Bola baja 3,175 mm	10	140	150	130	Merah
L	Bola baja 6,35 mm (1/4")	10	50	60	130	Merah
M	Bola baja 6,35 mm	10	90	100	130	Merah
P	Bola baja 6,35 mm	10	140	150	130	Merah
R	Bola baja 12,7 mm (1/2")	10	50	60	130	Merah
S	Bola baja 12,7 mm	10	90	100	130	Merah
V	Bola baja 12,7 mm	10	140	150	130	Merah

2.7 Metalography Test

Melalui pengujian metalografi maka dapat dilihat dan dianalisa struktur mikronya kemudian dapat dikaitkan dengan sifat material tersebut. Pembentukan struktur mikro erat kaitannya dengan proses pembuatan material tersebut, meliputi pemberian paduan dan perlakuan lanjut seperti perlakuan panas. Ilmu logam secara garis besar dibagi menjadi 2 yaitu metalurgi dan metalography.

Metalurgi yaitu ilmu yang mempelajari tentang perpaduan logam dengan unsur-unsur tertentu seperti titanium, copper, yang bertujuan untuk memperkuat atau dan menambah ketangguhan logam, yang digunakan untuk berbagai kebutuhan khusus seperti engine blok piston dll.

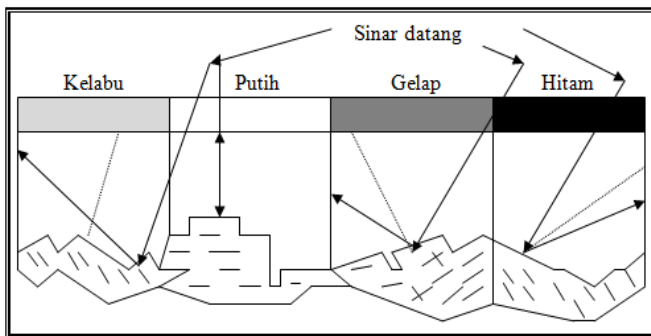
Metalografi merupakan suatu metode untuk menyelidiki struktur logam dengan menggunakan mikroskop optis dan mikroskop electron dengan perbesaran 50 – 3000 kali. Sedangkan struktur yang terlihat pada mikroskop tersebut

tersebut disebut mikrostruktur. Pengamatan tersebut dilakukan terhadap spesimen yang telah diproses sehingga bisa diamati dengan pembesaran tertentu.

Sifat mekanik tidak hanya tergantung pada komposisi kimia suatu paduan, tapi juga tergantung pada struktur mikronya. Suatu paduan dengan komposisi kimia yang sama dapat memiliki struktur mikro yang berbeda dan sifat mekaniknya pun akan berbeda.

Pengujian metalography dibagi menjadi dua jenis yaitu pengujian makro dan pengujian mikro

- Pengujian makro
Pengujian makro bertujuan untuk melihat secara visual atau kasat mata hasil dari pengelasan apakah terdapat cacat atau tidak, dengan dilakukan proses etsa terlebih dahulu
- Pengujian mikro
Pengujian mikro bertujuan untuk melihat butiran struktur kristal dari logam yang diuji dengan menggunakan mikroskop mulai perbesaran 50-3000 kali, sehingga dapat diketahui sifat, dan struktur dari logam tersebut.



Gambar 2.14 Pantulan Sinar Pada *Metalography Test*

Langkah-langkah pengujian struktur mikro:

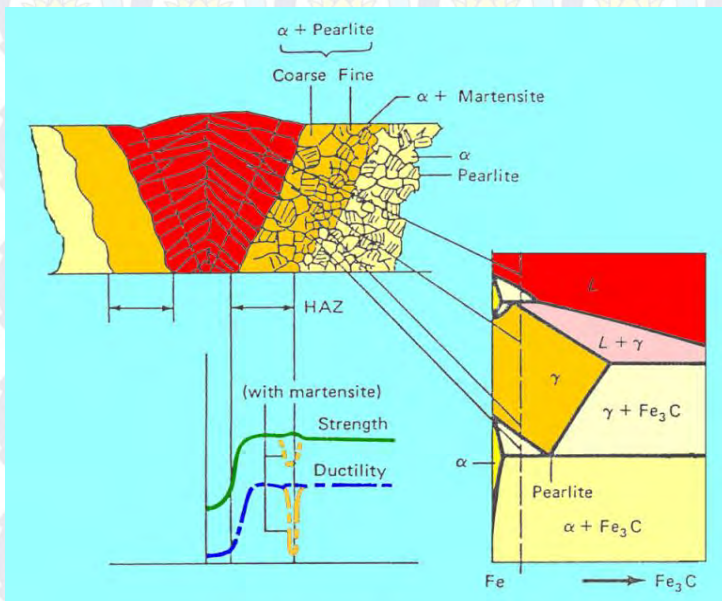
- a) Sebelumnya spesimen yang akan dilakukan pengujian dihaluskan dan diratakan permukaannya terlebih dahulu agar kemudian dapat dilihat struktur mikronya.
- b) Setelah itu permukaan yang telah selesai dihaluskan dan diratakan kemudian di etsa dengan menggunakan alkohol 95% dan HNO_3 (*nitric Acid*) benda di celupkan selama kurang lebih 5 menit kemudian di bilas dengan menggunakan alkohol dan dikeringkan.
- c) Benda uji yang telah di etsa diletakkan diatas landasan (*anvil*) tegak lurus dengan lensa mikroskop.
- d) Pembesaran yang dipakai 500 X dan 1000X.
- e) Menaikkan landasan atau digeser sampai benda uji terfokus ke lensa dan mendapatkan hasil gambar yang bagus, setelah fokus kemudian dilakukan pemotretan
- f) Pemotretan (pengambilan gambar) dilakukan pada tiga lokasi berbeda pada satu permukaan saja yaitu logam induk, HAZ, dan daerah las.
- g) Setelah selesai pemotretan benda kerja dilepas dari landasan.

2.7.1 Struktur Mikro dan Makro pada Base Metal, HAZ (Heat Affected Zone) dan Weld Metal

Perubahan metalurgi yang terjadi di las dan HAZ signifikan mempengaruhi kualitas las. Berbagai macam perubahan yang mungkin terjadi tergantung pada berbagai faktor, misalnya ;

- (a) Sifat material (yaitu fase tunggal, dua-fase)
- (b) Sifat heat treatment sebelumnya
- (c) Sifat cold working sebelumnya.

Kami sekarang mempertimbangkan contoh khas perubahan ini. Mari kita mempertimbangkan las fusi dua potong bahan fase tunggal, yang telah cold working untuk menghasilkan orientasi yang diinginkan. Butiran cold working menghasilkan kekuatan tinggi dan keuletan rendah. Namun, pada gabungan pengelasan, pertumbuhan butiran bercampur lagi terjadi di daerah batas meleleh, yang pada akhirnya menghasilkan kekuatan rendah. Daerah *HAZ* yang terkena panas, butiran menjadi kasar karena heat input (annealing), dan juga terjadi rekristalisasi parsial. Dalam kedua kasus, kekuatan rendah jauh di bawah dari bahan induk. Dengan meningkatnya jarak dari batas meleleh, butiran menjadi lebih halus sampai daerah panas *HAZ* terpengaruh dengan mencapainya butiran yang memanjang. Semua perubahan ini ditunjukkan pada gambar. 2.18 Karakteristik sambungan las pada logam murni.

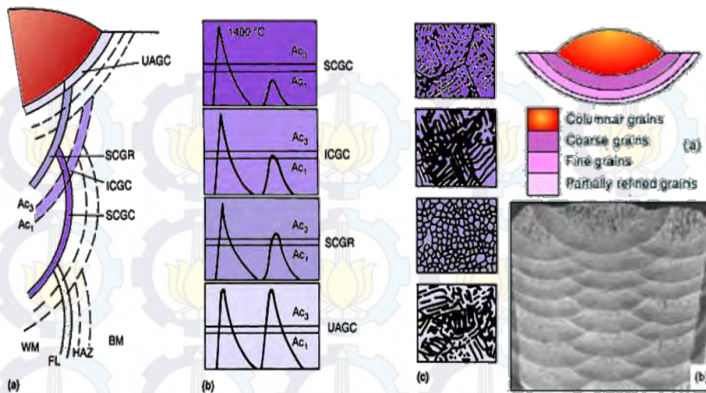


Gambar 2.15 Karakteristik sambungan las pada logam murni Fe – Fe_3C .

Mari kita mempertimbangkan bahan dua fase yang berasal kekuatannya sebagian besar dari pengerasan presipitasi. Dalam hal ini, kekuatan dalam batas mencair lagi terlalu rendah. Tapi diberbatasan langsung terkena daerah panas *HAZ*, hasil siklus termal pemanasan dan pendinginan diikuti oleh proses penuaan lebih lanjut. Proses penuaan ini memulihkan beberapa kekuatan. Bahan terluar dari daerah ini terlalu banyak karena panas pengelasan dan menjadi lebih sulit dengan hilangnya kekuatan. Oleh karena itu, kekuatan dan keuletan dekat sambungan yang seperti ditunjukkan pada gambar di atas. Dua contoh kami telah dianggap secara jelas menunjukkan bahwa berbagai jenis perubahan metalurgi yang mungkin selama proses pengelasan, terutama untuk paduan kompleks. Perubahan ini diatur oleh metalurgi non-ekuilibrium dari paduan tersebut harus dipahami dengan jelas untuk menghasilkan perpaduan pengelasan yang memuaskan. Juga, keputusan ini sebelum dipanaskan proses pemanasan yang diberikan, yang harus diambil untuk mengembalikan karakteristik yang diinginkan dari sambungan.

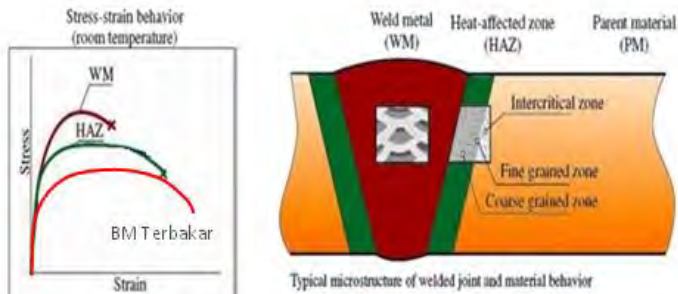
2.7.2 Multilayer

Pengelasan *multilayer* merupakan pengelasan berulang yang dilakukan pada suatu material yang memiliki ketebalan tertentu sehingga tidak memungkinkan dilakukan pengelasan satu layer. Adanya pengelasan *multilayer* yang dilakukan pada setiap sambungan memberikan pengaruh terhadap laju pendinginan. Laju pendinginan yang terjadi dengan pengelasan *multilayer* yang diberikan memperkecil adanya gradien temperatur pada saat terjadi proses pembekuan. Semakin banyak *layer* maka laju pendinginan semakin lambat. Karena laju pendinginan lambat, pembentukan tegangan sisa dan fasa-fasa getas sangat minim. Dengan sedikitnya tegangan sisa dan fasa-fasa getas maka, kekuatan tarik sambungan akan semakin tinggi dan nilai kekerasan akan menurun karena material bersifat *ductile*.



Gambar 2.16 Typical Heat Cycles 5 Δt 8/5 (Temperatur 800° – 500° / 300° C) Multi Layer

Pengelasan pelat datar sering menggunakan *single layer* dan *multilayer*. Pengelasan *single layer* sering digunakan untuk pelat tipis. Dan pengelasan *multi layer* digunakan untuk pelat yang tebal. Pengelasan *multi layer* sering digunakan untuk konstruksi dengan keuletan sambungan yang tinggi. Pada pengelasan *multilayer*, *layer* kedua akan memberikan efek *postheat* pada layer sebelumnya dan *preheat* bagi layer sesudahnya. Pengelasan *multi layer* juga akan memberikan efek tempering pada daerah HAZ, akibat panas dari layer berikutnya. Efek *preheat* dan tempering dapat mempengaruhi struktur mikro dan kekerasan pada hasil las. Adanya *preheat* untuk menegh terbentuknya *martensit* yang bersifat getas pada daerah *weld metal*, sedangkan adanya *postheat* untuk memperbaiki struktur *weld metal* apabila terjadi *martensit*. Dengan ata lain pada *multilayer* tidak terbentuk *martensit*.



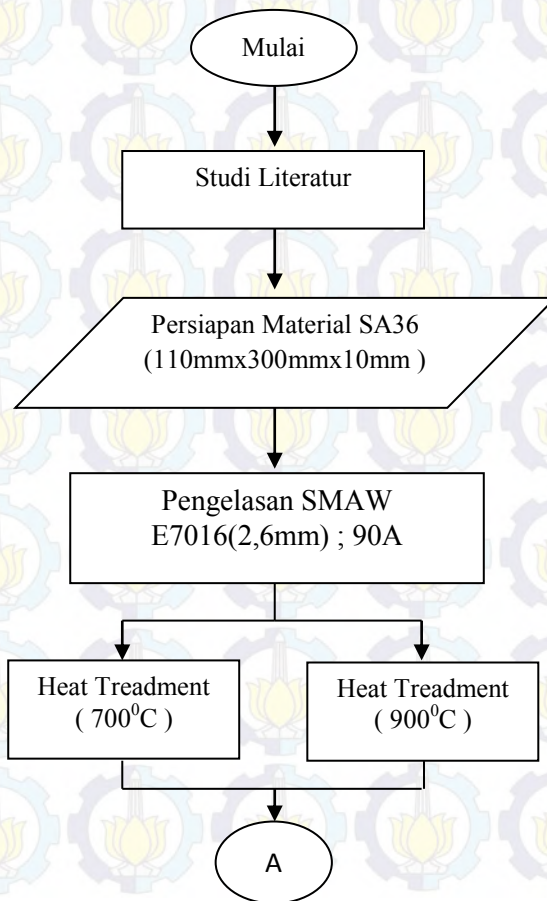
Gambar 2.17 Typical Heat Cycles 6 Δt 8/5 (Temperatur 800° – 500° / 300° C) Multi Layer



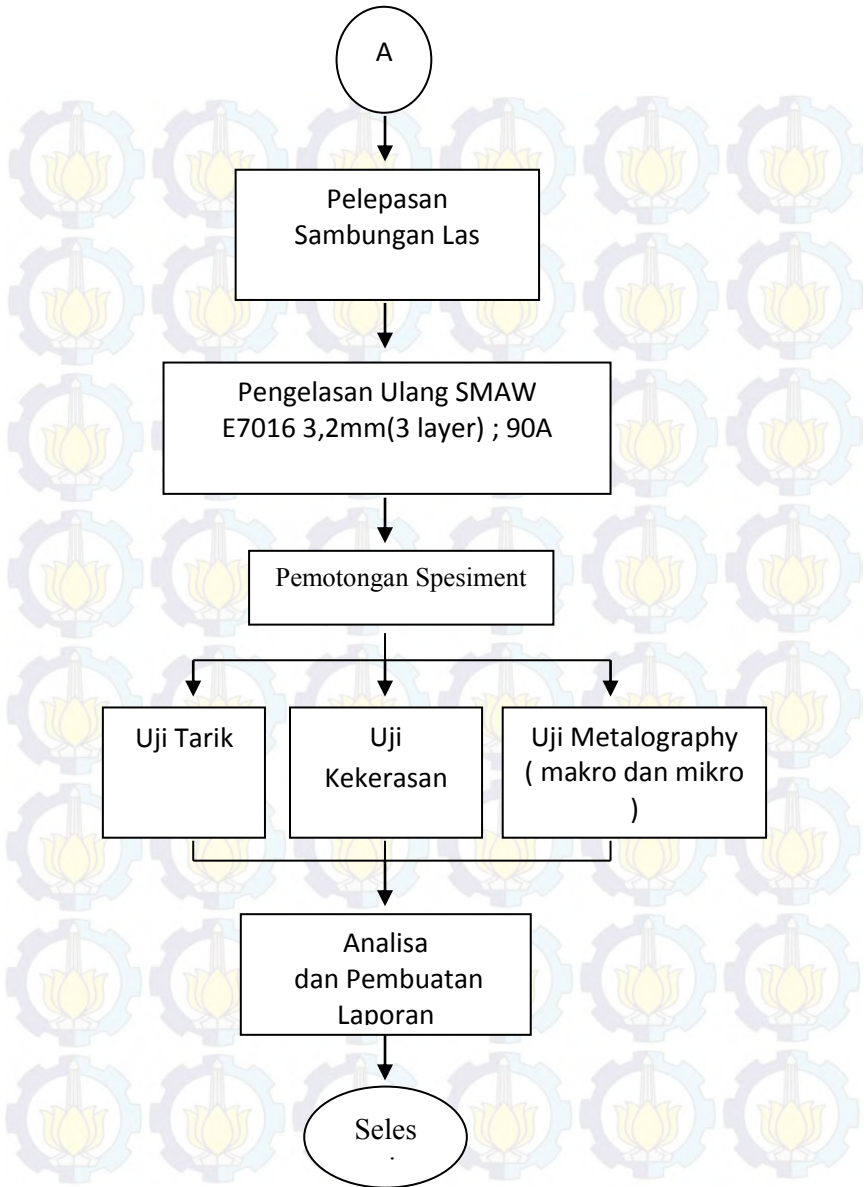
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 *Flow Chart* Penelitian

Pengerjaan dalam pembuatan laporan penelitian ini sesuai dengan flow chart, bisa dilihat pada gambar 3.1 diagram di bawah ini.



Gambar 3.1 *Flow Chart* Diagram



Gambar 3.2 *Flow Chart* Diagram (Lanjutan)

3.2 Waktu Pelaksanaan Penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian dilakukan pada semester gasal tahun ajaran 2015/2016 yaitu pada bulan September sampai dengan Januari 2016.

3.3 Tempat

Penelitian ini dilaksanakan di lab uji bahan dan bengkel pengelasan D3 Teknik Mesin FTI-ITS

3.4 Langkah Kerja

Dalam penyelesaiannya pembuatan tugas akhir ini memiliki langkah awal yang dilakukan, salah satunya adalah studi literatur mengenai *heat treatment*(perlakuan panas),yaitu dengan mengasumsikan seperti telah terjadi kebakaran, dan serta pengujiannya pada sifat mekanis, kemudian pada langkah selanjutnya yaitu melakukan percobaan pada benda uji. Untuk memperjelas, berikut tahapan tahapan yang akan dilakukan.

3.4.1 Studi Literatur

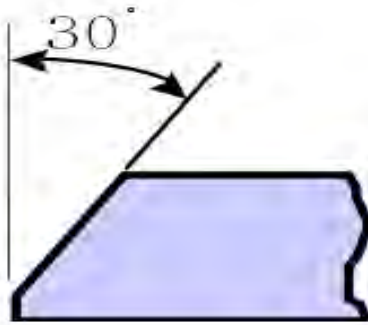
Tahapan studi literatur adalah untuk mempelajari dan membahas teori-teori yang dibutuhkan untuk mengerjakan penelitian ini. Selain itu juga melakukan pengambilan data melalui buku dan internet.

3.4.2 Persiapan material

Material yang digunakan adalah SA36 dengan dimensi 110 mm x 300 mm dan tebal 10 mm. Material tersebut disambung dengan kampuh V menggunakan sudut 60°



Gambar 3.3 Material SA 36



Gambar 3.4 Sudut Bevel Yang Digunakan



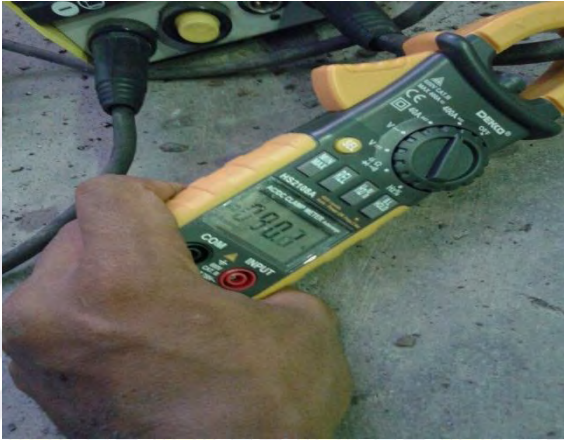
Gambar 3.5 Kampuh V 60°

3.4.3 Pengelasan

Pengelasan dilakukan menggunakan SMAW ($DC+$, $DC-$) posisi 1G. Pengelasan pada plat menggunakan jenis elektroda, yaitu E 7016 untuk penetrasi yang baik, dan sebagai *fill and cover*, serta *capping*. Diameter elektroda E 7016 sebesar 26 mm. Arus yang digunakan pada saat pengelasan SMAW adalah 90 A.



Gambar 3.6 Proses Pengelasan



Gambar 3.7 Tank Ampere

3.4.4 Simulasi Kebakaran

Proses simulasi kebakaran dilakukan pada plat SA36 yang telah disambung menggunakan proses pengelasan SMAW dengan temperatur 700°C dan 900°C. Tujuan dari heat treatment ini adalah untuk mengetahui perbandingan sifat mekanik benda kerja hasil las SMAW tersebut setelah terkena perlakuan panas.

Tabel 3.1 logam induk dan pengisi E 7016

NAMA	KETERANGAN
Material Spesification	SA 36
P-N0	1 group 2
Tebal	10 mm
AWS Classification	E 7016
Filler metal Dia, mm	3,2mm
Posisi pengelasan	1G

Tabel 3.2 Parameter Pengelasan

Parameter	Layer	
	1(Root)	2-3(fill &Caping)
Proses	SMAW	SMAW
Travel speed,mm/s	1.16	1.16
Amperage	90	90
Voltage	27	27
Electrode diameter,mm	3.2	3.2

3.4.5 Repair SMAW

Base metal yang sudah di las SMAW dan di *heat treatmen*, kemudia dilakukan pemotongan ulang pada sambungan. Pemotongan dilakukan langsung bentu kampuh 30 °. Kemudian dilakukan pengelasan SMAW 90A, filler E7016 diameter 2,6mm dan E7018 diameter 3,2mm.



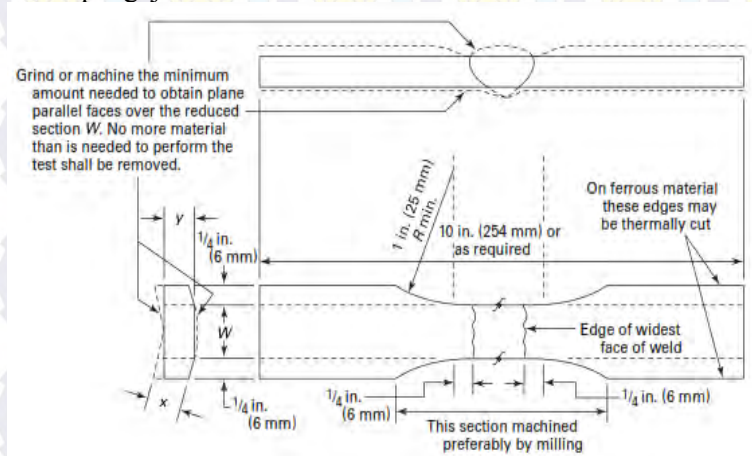
Gambar 3.8 Proses Bevel

3.4.6 Pengambilan Test Piece

Untuk pengambilan spesimen, dilakukan dengan memperhitungkan jumlah pengujian yang akan digunakan. Dalam penelitian ini pengujian yang dilakukan adalah kekerasan (*Hardness*),uji tarik, dan *metalography*(*Makro dan Mikro ETSA*).

3.4.7 Pengujian tarik

Pengujian tarik mengambil masing-masing 3 spesimen, 700°C(3 spesimen dan 900°C(3 spesimen). Dimensi dari spsimen pengujian tarik mengikuti standart *ASME Section 9* untuk pengujian tarik.



Gambar 3.9 Dimensi Spesimen

Langkah-langkah pengujian *Tarik* :

1. Menyiapkan specimen
 - Ambil spesimen dan jepit pada ragum
 - Bersihkan bekas-bekas machining dengan kikir
 - Lakukan langkah diatas untuk seluruh specimen

2. Pengukuran dimensi

- Ambil spesimen ukur dimensinya
- Catat dan beri kode untuk masing - masing specimen.
- Lakukan langkah diatas untuk seluruh specimen

3. Pengujian pada spesimen.

- Mencatat data mesin pada benda kerja.
- Penempatan bandul pada posisi awal.
- Atur jarum penunjuk pada posisi 0.
- Ambil specimen dan letakkan pada tempatnya.
- Amati datanya dan catat.
- Ulangi langkah diatas unruk seluruh specimen.



Gambar 3.10 Spesimen 700⁰C



Gambar 3.11 Spesimen 900°C

A. Hardness(Uji kekerasan)

Dalam pengujian kekerasan, jumlah spesimen yang diuji adalah 4 masing masing spesimen diambil 28 titik yaitu, 11 *weld metal*, 6 *HAZ*, dan 12 *base metal*.



Gambar 3.12 Rockwell

Merk : AFFRI Seri 206.RT – 206.RTS
Loading : Maximum 150 KP
Minimum 60 KP
Hrc Load : 150 KP
Indentor : Kerucut intan 120°
Hrb Load : 100 KP
Indentor : Kerucut Intan 120 °

B. Makro dan Mikro ETZA

Untuk proses Metalography test dibagi menjadi 2 yaitu pengamatan *Makro test* dan *Mikro test*.

- Makro test
Bertujuan melihat secara visual hasil dari proses pengelasan setelah dilakukan pengetsaan, proses pengetsaan yaitu cairan $\text{HCL} + \text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$., maka bagian Weld Metal, HAZ, dan Base metal akan terlihat.
- Mikro test
Bertujuan untuk melihat struktur kristal logam

Berikut alat dan bahan yang digunakan untuk pengetsaan bendu uji (*Test Piece*) :



Gambar 3.13 Alat dan bahan untuk proses etsa



BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan menjelaskan bagaimana pengaruh perbedaan variasi temperatur pemanasan sambungan las baja SA36 yang dilakukan pengelasan ulang / *repair*, melalui 3 pengujian , yaitu *Tensile Test* , *Hardness Test*, *Metalography Test*.

4.1 Heat Input

Masukan panas : $HI=EI/V$

Dimana: HI = masukan panas atau energi (J/mm)

I = Arus (Ampere)

E =Voltase (Volt)

V =Jarak/Waktu (mm/s)

$$I = 90 \text{ A}$$

$$E = 27 \text{ V}$$

$$V1 = \frac{90\text{mm}}{60} = 2.5\text{mm/s}$$

$$V2 = \frac{120\text{mm}}{60\text{s}} = 2\text{mm/s}$$

Tabel 4.1 Nilai Besaran Heat Input

<i>Layer</i>	<i>Ampere (I)</i>	<i>Voltase (E)</i>	<i>Travel speed (mm/s)</i>	<i>HI (joule/mm)</i>
1(Root)	90	27	2.5	972
2-3 fill	90	27	2	1.215

4.2 Tensile Test (Uji Tarik)

Pada pengujian tarik ini digunakan 6 spesimen berdasarkan variasi suhu , yaitu 3 spesimen untuk suhu 700°C dan 3 spesimen untuk suhu 900°C didapat hasil sebagai berikut :

Tabel 4.2 Data Hasil Uji Tarik Tanpa Pemanasan

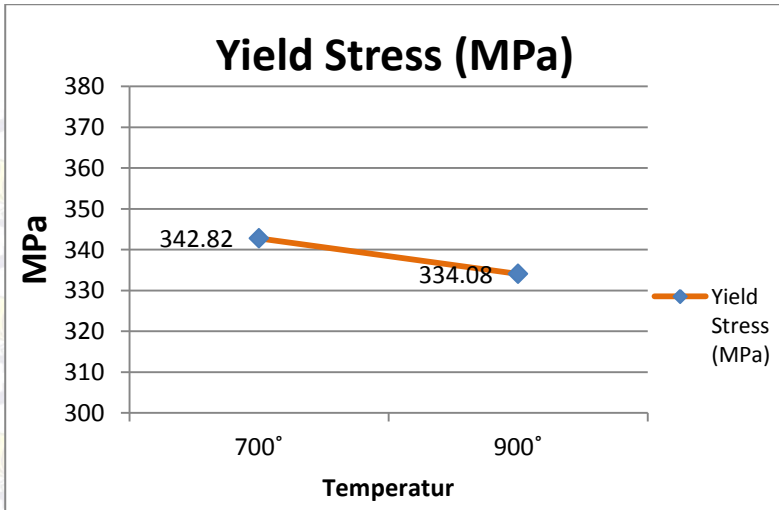
Spesimen	Yield Force (kN)	Yield Stress (MPa)	Max Force (kN)	Luas Area (mm ²)	Max Stress (MPa)
Sebelum kebakaran	63.94	399.94	82.67	159.88	517.05
	73.54	407.02	95.07	180.69	526.13
	70.02	389.97	94.34	179.55	525.42
Rata - rata	71.78	398.495	94.705	180.12	525.775

“Data diatas didapat dari Fahrudy Dwi W. :2016. “Pengaruh Variasi Ampere 90 Dan 110 Terhadap Sifat”.

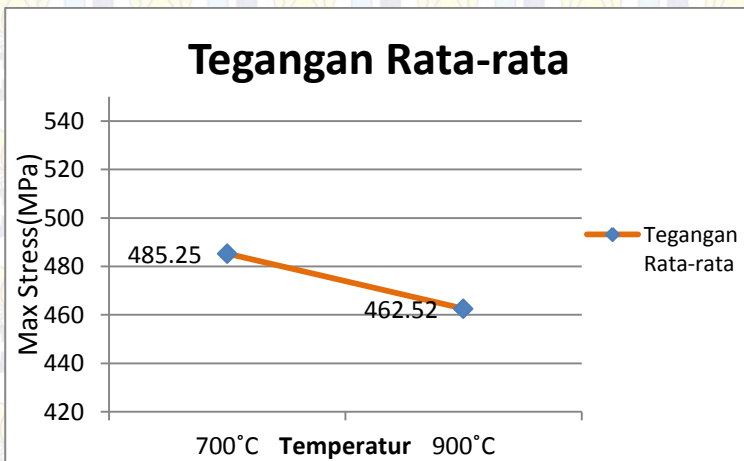
Tabel 4.3 Hasil Tensile Test

Temperatur	Yield Force (kN)	Yield Stress (MPa)	Max Force (kN)	Max Stress (MPa)	Luas Area (mm ²)
700°C	91.06	455.26	97.20	485.97	200.01
	57.15	286.58	97.35	488.12	199.43
	57.24	286.62	96.20	481.66	199.72
Rata-rata	68.15	342.82	96.91	485.25	199.72
900°C	77.89	344.96	74.75	454.63	164.41
	57.04	327.36	74.40	456.83	162.86
	72.81	329.94	77.68	476.10	163.15
Rata-rata	69.24	334.08	75.61	462.52	163.47

Berdasarkan tabel diatas aka didapat grafik hasil uji tarik material tanpa pemanasan, dan dengan pemanasan 700°C dan 900°C.



Gambar 4.1 Grafik Yield Stress Rata-rata



Gambar 4.2 Grafik Tegangan Tarik

Dari data pengujian di atas diperoleh data tegangan tarik rata-rata pada temperature 700°C adalah 485.25N/mm² dan pada temperature 900°C memiliki nilai rata-rata 462.52N/mm² . Jadi

nilai tegangan tarik lebih tinggi berada pada spesimen temperature 700°C.

Untuk mencari regangan maka dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar 4.3 L0 temperatur 700°C



Gambar 4.4 L1 temperatur 700°C

Sehingga dapat dicari regangan :

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100 \%$$

Dimana :

E = Regangan (%)

ΔL = Perpanjangan (mm)

L_0 = Panjang awal (mm)

Untuk memudahkan mencari regangan maka dapat dilihat pada gambar di bawah.



Gambar 4.5 L0 temperatur 900°C



Gambar 4.6 L1 temperatur 900°C

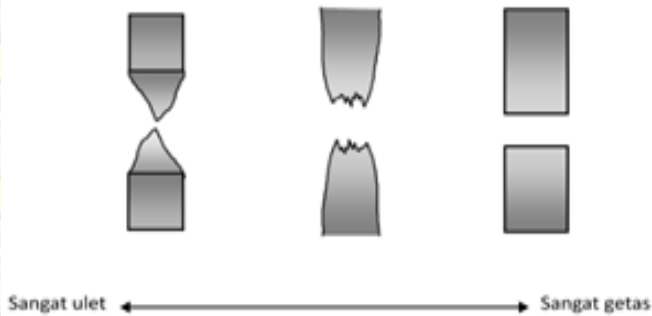
Tabel 4.4 Nilai Regangan

Suhu	L0 (mm)	L1 (mm)	ΔL (mm)	ϵ (%)
700°C	27	32.83	5.83	21.59
	27	32.48	5.48	20.25
	27	32.78	5.78	21.45
Rata-rata				21.09
900°C	27	32.21	5.21	19.29
	27	33.65	6.65	24.62
	27	34.63	7.63	28.25
Rata-rata				24.05

Berdasarkan data dari tabel diatas, maka didapat drafik persentase regangan antara specimen material dengan pemanasan 700°C dan 900°C.

Dari hasil diatas nilai regangan rata-rata lebih tinggi berada pada temperature 900°C dengan nilai 2.05%. Sedangkan pada temperature 700°C memiliki nilai regangan rata-rata 21.09%.

Dilihat dari specimen yang putus saat pengujian tarik bentuk patahan dari spesimen dapat dilihat sebagai berikut



Gambar 4.7 Macam dan Sifat Patahan



Gambar 4.8 Bentuk dan daerah patahan berada di base metal temperature 700°C



Gambar 4.9 Bentuk dan daerah patahan berada di base metal temperatur 900°

Dari daerah putusnya material SA36 putus di daerah seperti gambar di atas yaitu pada daerah *base metal*. Dilihat dari bentuk patahannya bisa dikatakan bersifat *ductile*. Hal ini terjadi karena kekuatan tarik pada *base metal* lebih rendah daripada *HAZ* dan *weld metal*. *Base metal* mengalami penurunan kekuatan tarik dikarenakan adanya proses pemanasan sampai pada temperatur kritis. Pada *weld metal*, kekuatan tariknya lebih tinggi karena *filler* dipilih yang memiliki kekuatan tarik yang lebih tinggi daripada *base metal*. Sedangkan pada daerah *HAZ*, terpengaruh oleh dampak *preheat* dan *postheat* pada pengelasan *multilayer*.

Hasil pengujian tarik lebih tinggi berada pada specimen dengan temperatur 700°C dengan nilai tegangan rata-rata 48525 N/mm² dan nilai *max force* rata-rata 96.kN. Sedangkan pada temperature 900°C memiliki nilai tegangan tarik rata-rata 462.52N/mm² dan nilai *max force* rata-rata 75.61 kN.

4.3 Hardness Test (Uji Kekerasan)

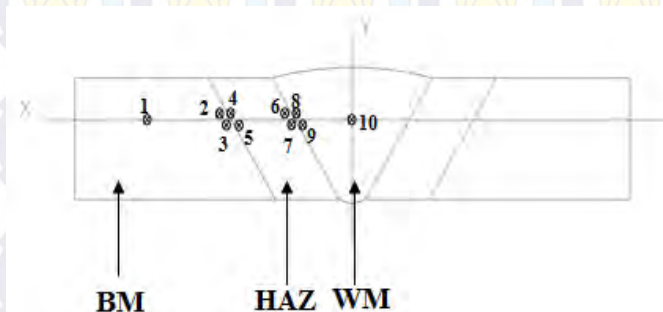
Pengujian kekerasan dilakukan pada spesimen sebanyak tiga kali pengujian di garis yang sama dengan menggunakan 3 bidang spesimen yang berguna untuk mencari kepastian nilai kekerasan. Selain itu hasil patahan dari uji tarik akan diamati juga.

Bentuk spesimen patahan hasil uji tarik sebagai acuan untuk uji kekerasan seperti gambar di bawah



Gambar 4.10 Acuan daerah indentasi temperature 700°C

Bentuk pengujian kekerasan pada spesimen menggunakan letak indentasi seperti gambar di bawah.



Gambar 4.11 Pengambilan Indentasi

jelasan letak indentasi pada spesimen dapat dilihat di gambar di bawah ini :

BIDANG 1



BIDANG 2



BIDANG 3

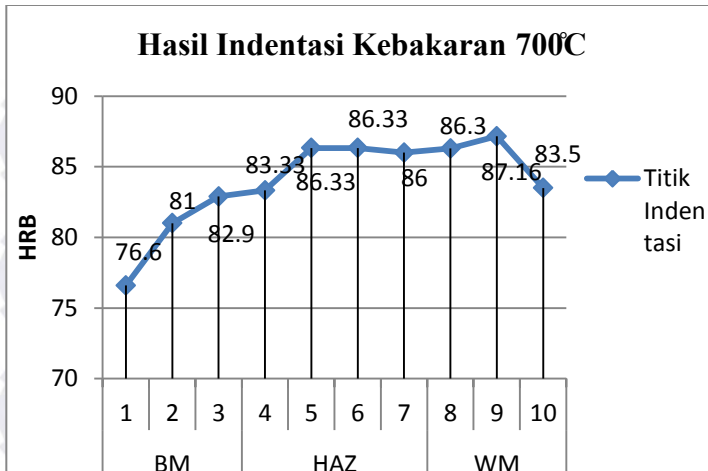


Gambar 4.12 Bidang Hasil Indentasi Spesimen 700°C

Dari pengujian kekerasan diperoleh data sebagai berikut :
Dimana nilai titik indentasi dari tiga bidang pada specimen temperature 700°, adalah :

Tabel 4.5 Nilai Titik Indentasi(HRB) 700°C

Titik Indentasi		Bidang			Rata-rata
		1	2	3	
BM	1	76	77	77	76.6
	2	84	79	80	81
	3	84	82.5	82.3	82.9
HAZ	4	83	84	83	83.33
	5	86	87	86	86.33
	6	89	84	86	86.33
	7	87	86	85	86
WM	8	87	84.5	87.5	86.3
	9	85	87.5	89	87.16
	10	87	81.5	82	83.5



Gambar 4.13 Grafik Nilai Indentasi Spesimen 700°C

Data jarak titik indentasi perbedaan signifikan pada garis perbatasan *base metal*, *HAZ*, dan *weld metal* terhadap sumbu y0. Fungsi dari nilai indentasi perbedaan signifikan adalah untuk mencari titik pasti garis perbatasan antara Base metal/ HAZ dan HAZ/Weld metal.



Gambar 4.14 Acuan Titik Indentasi temperature 900°C

BIDANG 1



BIDANG 2



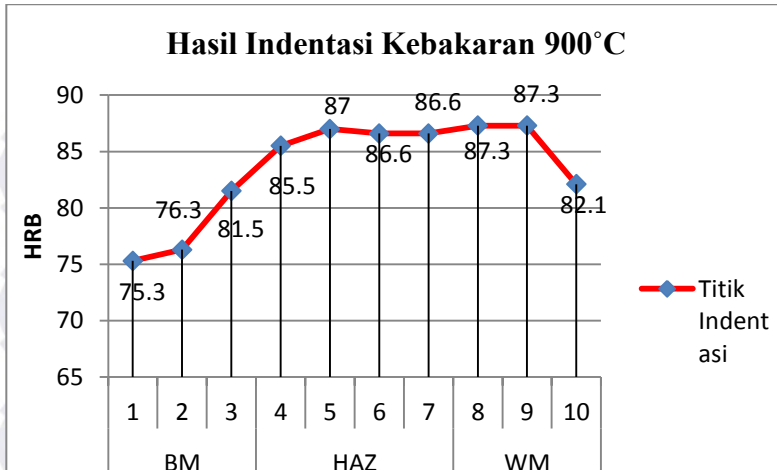
BIDANG 3



Gambar 4.15 Bidang Hasil Indentasi Spesimen 900°C

Tabel 4.6 Nilai Titik Indentasi(HRB) Temperatur 900°C

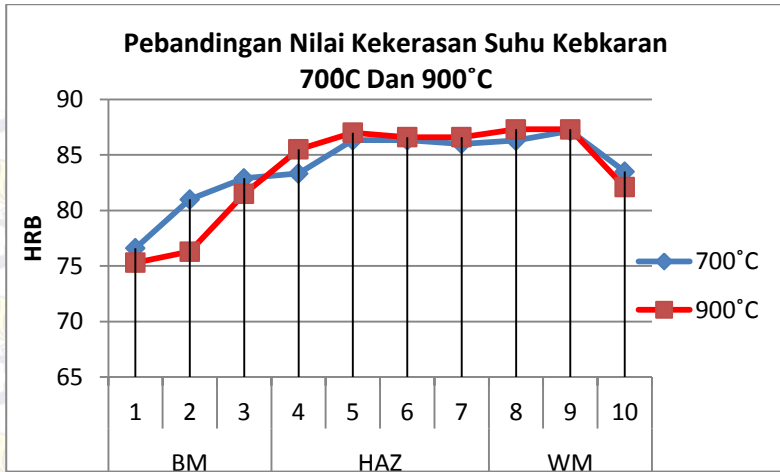
Titik Indentasi		Bidang			Rata-rata
		1	2	3	
BM	1	75.5	74.5	76	75.3
	2	75	77	77	76.3
	3	81,5	82	81	81.5
HAZ	4	86.5	83.5	86.5	85.5
	5	88	87.5	85.5	87
	6	88	89.5	82.5	86.6
	7	87.5	88	84.5	86.6
WM	8	88.5	89	84.5	87.3
	9	88	89	85	87.3
	10	81.5	82	83	82.1



Gambar 4.16 Grafik Nilai Indentasi Spesimen 900°C

Tabel 4.7 Nilai Titik Indentasi rata-rata

Titik Indentasi		Tanpa Pemanasan	700°C	900°C
BM	1	85.25	76.6	75.3
	2	85.38	81	76.3
	3	80.33	82.9	81.5
HAZ	4	88.13	83.33	85.5
	5	88.38	86.33	87
	6	85.42	86.33	86.6
	7	85.63	86	86.6
WM	8	86.33	86.3	87.3
	9	88.67	87.16	87.3
	10	89.50	83.5	82.1



Gambar 4.17 Grafik Perbandingan Nilai ekerasan Suhu ebakaran 700 C Dan 900 C

Berdasarkan data hasil pengujian kekerasan, nilai kekerasan pada base metal spesimen 700°C lebih tinggi dibandingkan dengan spesimen 900°C, spesimen 700°C

4.4 Metallography Test (Uji Metalografi)

Pada pengujian metalografi ini yang akan dilihat struktur mikronya yaitu daerah perbatasan antara *base metal*, *HAZ*, *weld metal* serta ditambah masing masing daerah *base metal*, *HAZ*, *weld metal*.

4.4.1 Pengujian Makro

Hasil pengujian makro dapat dilihat pada gambar di bawah



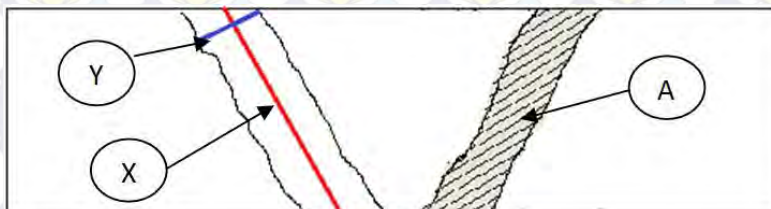
Gambar 4.18 Foto Makro 700°C



Gambar 4.19 Foto Makro 900°C

4.4.2 Lebar HAZ

Maka untuk mengetahui lebar dari masing-masing HAZ dilakukan permisalan yang akan dijelaskan pada gambar berikut.



Gambar 4.20 Keterangan Garis

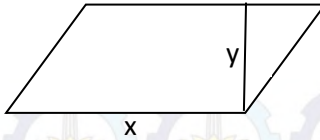
Keterangan :

A = Luas HAZ (daerah yang diarsir)

X = Panjang Acuan HAZ (garis warna merah)

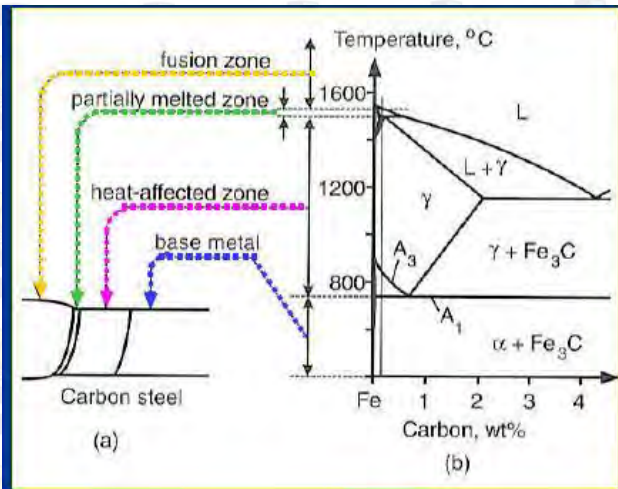
Y = Lebar rata-rata HAZ (garis biru)

Untuk mengetahui lebar dari HAZ, Luasan dari Haz harus dicari terlebih dahulu lalu dimasukan rumus jajar genjang sebagai acuan untuk menghitung dari lebar HAZ.



Gambar 4.21 Jajar genjang

Lebar HAZ tergantung dari beberapa factor sala satunya *heat input*. Untuk mempermudah membandingkan data dari lebar HAZ maka data akan diolah terlebih dahulu melalui rumus berikut.



Gambar4.22 Transformasi Fasa Pada Lasan

$$\frac{1}{T_p - T_0} = \frac{4,13 \cdot \rho C \cdot t \cdot y}{H_{net}} + \frac{1}{T_m - T_0}$$

Keterangan:

H_{net} = $H_{input} \times f$ (efisiensi perpindahan kalor)

T_0 = Temperatur awal pengelasan

T_p = Temperatur batas Haz dan Base Metal

T_m = Temperatur Melting

ρC = $0,0044 \text{ J/mm}^3 \cdot ^\circ\text{C}$

t = tebal plat

y = Lebar HAZ

f_1 = $0,8 - 1$ (80% - 100%)

dimana f_1 adalah efisiensi perpindahan kalor untuk las busur electrode.

Diketahui :

Parameter pengelasan

- $E = 27 \text{ volt}$
- $\text{Arus} = 90 \text{ A}$
- $V = 1,16 \text{ mm/s}$
- $T_p = \text{diasumsikan } 730^\circ\text{C}$
- $T_o = \text{diasumsikan } 25^\circ\text{C}$

$$H_{\text{nett}} = \frac{f_1 E I}{V}$$
$$= \frac{0,8 \cdot 27 \cdot 90}{2} = 972 \text{ joule/mm}$$

Lebar HAZ :

$$\frac{1}{T_p - T_o} = \frac{4,13(0,0044) \cdot 10 \cdot Y}{972} + \frac{1}{1510 - 25}$$
$$\frac{1}{730^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}} = \frac{4,13(0,0044) \cdot 10 \cdot Y}{972} + \frac{1}{1510^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}}$$
$$\frac{1}{730^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}} = \frac{4,13(0,0044)10 \cdot Y}{1675,8} + \frac{1}{1485}$$

$$\frac{1}{705^{\circ}\text{C}} = \frac{4,13(0,0044) \cdot 10 \cdot Y}{972} + \frac{1}{1485}$$

$$\frac{1}{705^{\circ}\text{C}} = \frac{0,181 \cdot Y}{972} + \frac{1}{1485}$$

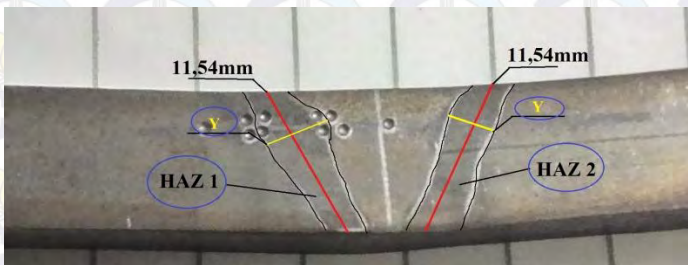
$$\frac{0,181 Y(1485) + 972}{1.443.420}$$

$$\frac{1}{705^{\circ}\text{C}} = \frac{268,785 \cdot Y + 972}{1.443.420}$$

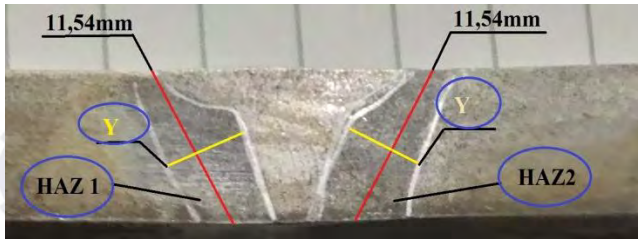
$$2.488.563 = 705 (268,785 \cdot Y + 972)$$

$$2.488.563 = 189.493,4 \cdot Y + 68.260$$

$$Y = \frac{758.160}{189.493,4} = 4\text{mm}$$



Gambar 4.23 Lebar HAZ Temperatur 700°C



Gambar 4.24 Lebar HAZ Temperatur 900°C

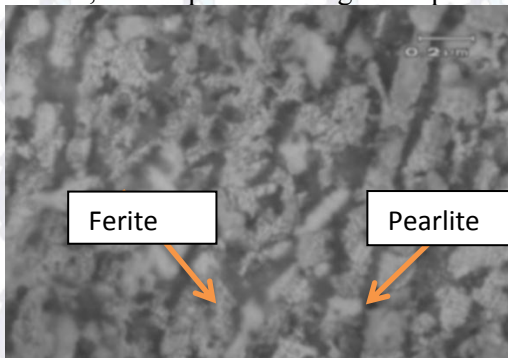
Tabel 4.8 Lebar HAZ

TEST PIECE	HAZ						$\frac{Y1 + Y2}{2}$ (mm)
	HAZ 1			HAZ 2			
	A (mm ²)	X (mm)	Y (mm)	A (mm ²)	X (mm)	Y (mm)	
700°C	43,8	11,54	3,8	51,8	11,54	4,26	3,75
900°C	48,4	11,54	4,2	49,6	11,54	4,3	4,25

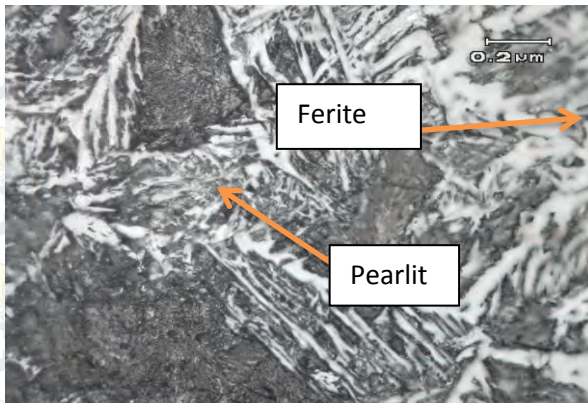
Keterangan : A (Luas HAZ), X(Panjang Acuan HAZ), Y(Lebar rata-rata HAZ pada satu bidang)

4.4.3 Pengujian Mikro

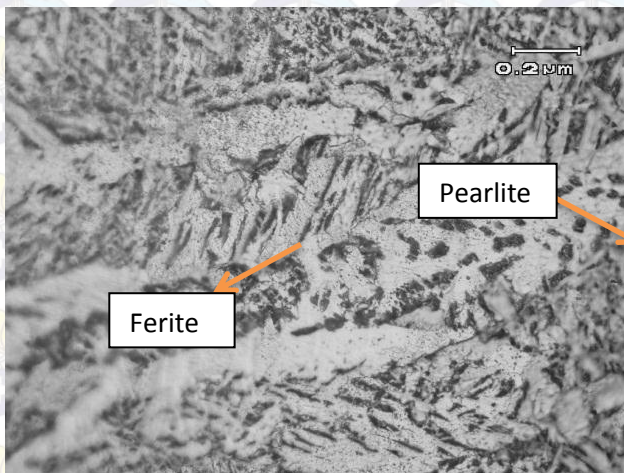
Untuk pengujian mikro maka didapatkan hasil sebagai berikut, untuk specimen dengan temperature 700°



Gambar 4.25 Base metal 700°C pembesaran 1000X

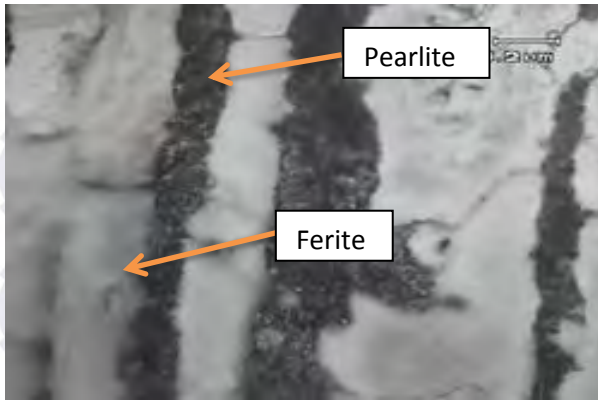


Gambar 4.26 HAZ 700°C Pembesaran 1000X

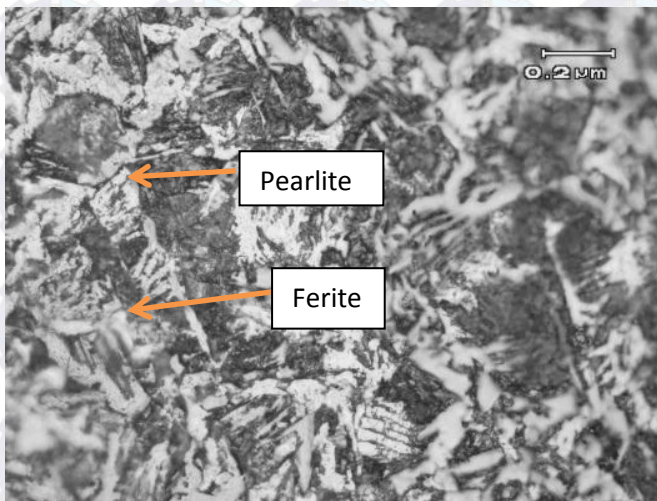


Gambar 4.27 Weld metal 700°C pembesaran 1000X

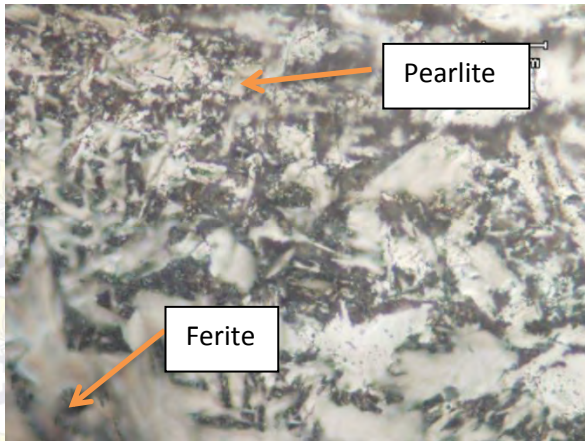
Untuk hasil uji mikro pada specimen dengan temperature 900°. Lihat pada gambar dibawah :



Gambar 4.28 Base metal 900°C Pembesaran 1000X



Gambar 4.29 HAZ 900°C Pembesaran 1000X



Gambar 4.30 Weld metal 900°C Pembesaran 1000X



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisa dari hasil uji tarik, uji kekerasan, uji metalografi, dapat disimpulkan bahwa material baja SA36 yang telah terkena simulasi kebakaran berikut :

1. Hasil pengujian didapatkan bahwa daerah patahan terdapat pada *base metal*.

462,52 MPa. Sedangkan dilihat dari hasil patahan pada spesimen, dapat disimpulkan bahwa material bersifat *ductile*.

2. Berdasarkan data hasil pengujian kekerasan pada daerah *base metal*, *HAZ*, dan *weld metal*. Didapat data nilai kekerasan pada temperatur 700°C di daerah Base Metal, HAZ, Weld Metal sebesar 82.9 HRB, 86.33 HRB, 87.16 HRB. Sedangkan pada temperatur 900°C di daerah Base Metal, HAZ, Weld Metal sebesar 81.5 HRB, 87 HRB, 87.3 HRB.

3. Pada hasil makro etsa didapatkan bahwa lebar HAZ pada hasil temperatur 700°C lebih lebar yaitu 2,92 mm dibandingkan pada hasil temperatur 900°C yaitu 2,72 mm. Hasil perhitungan lebar secara teoritis sebesar 3,02 mm.. Berdasarkan data hasil uji mikro, struktur pada spesimen p₀ c₀ -kecil karena pada p₀ c₀ p_f belum mengalami perubahan struktur. Sedangkan struktur mikro pada material terdapat *ferrit* dan *pearlit*.

5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat dilakukan untuk penelitian lebih lanjut:

1. Pada penelitian kali ini pengujian yang dilakukan hanya sebatas mengetahui nilai kekerasan dan *tensile test*, untuk selanjutnya bias dilakukan juga uji umur material dan *Bend Test*.
2. Pada penelitian ini kecepatan pengelasan tidak dihitung, selanjutnya bias dilakukan perhitungan kecepatan pengelasan.

DAFTAR PUSTAKA

1. American_Society_of_Mechanical_Engineers Section II, 2010, Ferrous_Material_Specifications.
2. ANSI/AWS A3.0-89 *Standard Welding Term and Definition*, American Welding Society.
3. American Society of Mechanical Engineers Section IX, 2010, Welding and Brazing Qualification.
4. Wiryosumarto H., Okumara T., *Teknologi Pengelasan Logam*, Cetakan Ketujuh, PT Pradnya Paramita, Jakarta, 1996
5. Prasajo Budi, ST, MT, 2002, Petunjuk Praktikum Uji Bahan, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
6. Hendro S, 2005. Perlakuan Panas pada Besi/Baja, Dosen / Instruktur ATMI Surakarta sampai tahun2001.
7. Budianto, 2012, Heat treatment.

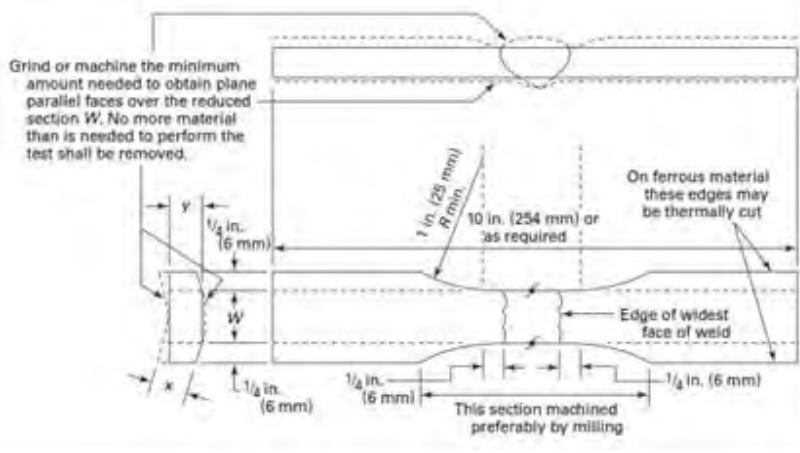
Lampiran 1

Tabel: skala kekerasan *rockwell b*

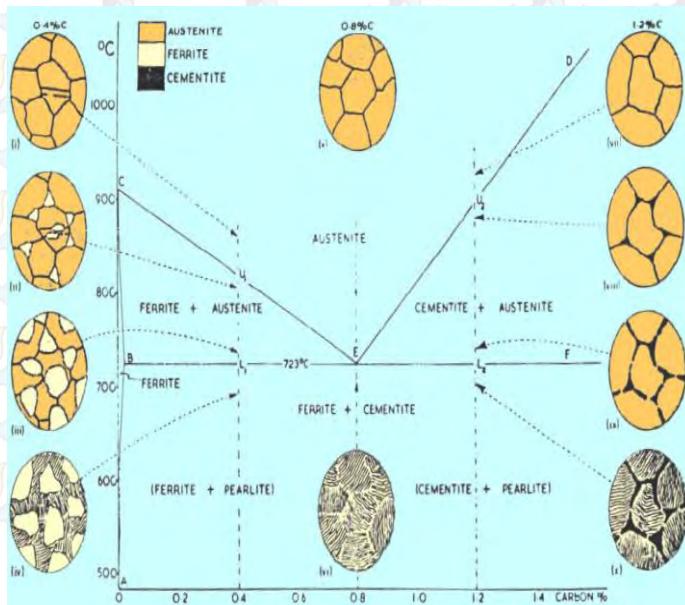
Skala	Penekan	Beban			Skala Kekerasan	Warna Angka
		Awal	Utama	Jumlah		
A	Kerucut intan 120°	10	50	60	100	Hitam
B	Bola baja 1,558 mm (1/16")	10	90	100	130	Merah
C	Kerucut intan 120°	10	140	150	100	Hitam
D	Kerucut intan 120°	10	90	100	100	Hitam
E	Bola baja 3,175 mm (1/8")	10	90	100	130	Merah
F	Bola baja 1,558 mm	10	50	60	130	Merah
G	Bola baja 1,558 mm	10	140	150	130	Merah
H	Bola baja 3,175 mm	10	50	60	130	Merah
K	Bola baja 3,175 mm	10	140	150	130	Merah
L	Bola baja 6,35 mm (1/4")	10	50	60	130	Merah
M	Bola baja 6,35 mm	10	90	100	130	Merah
P	Bola baja 6,35 mm	10	140	150	130	Merah
R	Bola baja 12,7 mm (1/2")	10	50	60	130	Merah
S	Bola baja 12,7 mm	10	90	100	130	Merah
V	Bola baja 12,7 mm	10	140	150	130	Merah

Lampiran 2

Tensile- Reduced Section – Plate



The diagram is an Iron-Carbon phase diagram. The vertical axis represents Temperature in degrees Fahrenheit (°F) and degrees Celsius (°C). The horizontal axis represents Carbon content in weight percent (wt%). The diagram is divided into two regions: Steel (0 to 2.11 wt% C) and Cast Iron (2.11 to 6.67 wt% C). Key phases include Austenite (γ), Ferrite (α), Delta iron (δ), Cementite (CM), Pearlite, and Leдебурит (L). Key reactions and points are labeled, such as the eutectic reaction at 1147°C (2066°F) and the eutectoid reaction at 727°C (1341°F). The diagram also shows the solubility of carbon in austenite and the formation of various iron-carbon compounds.



Lampiran 4

Hasil uji tarik spesimen 700

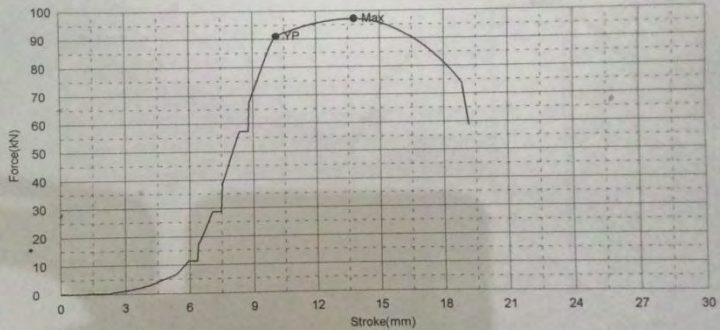
LABORATORIUM UJI BAHAN

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
BK-700-I	9.7000	20.6200	59.5000

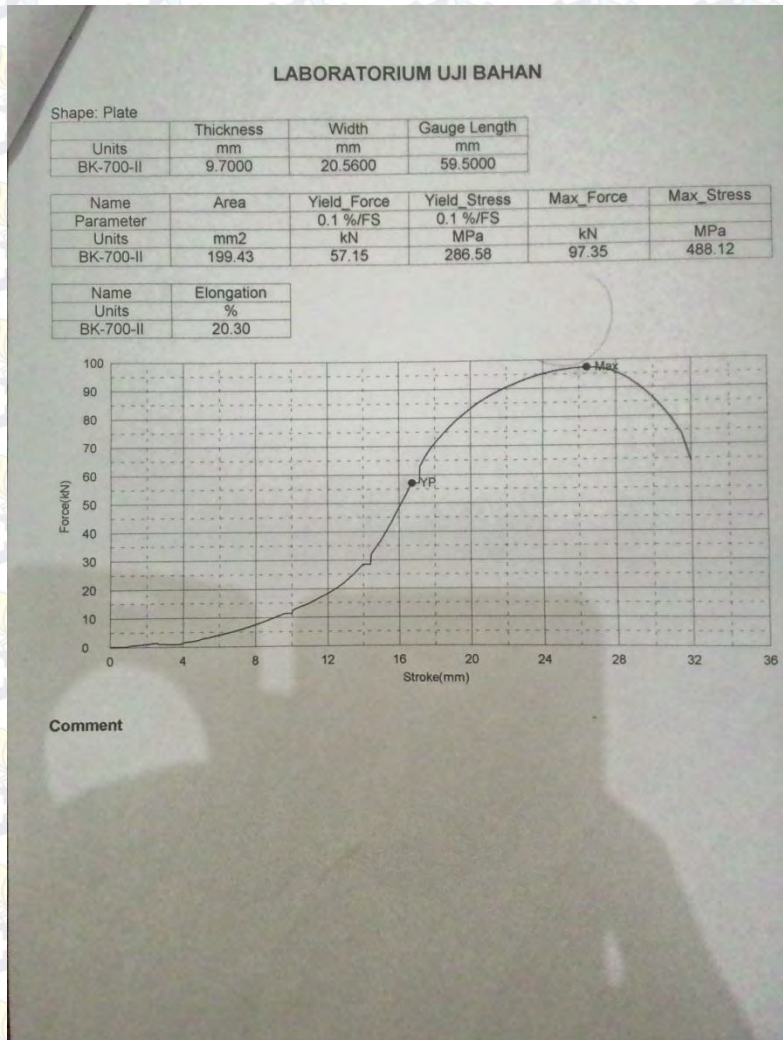
Name	Area	Yield Force	Yield Stress	Max Force	Max Stress
Parameter		0.1 %/FS	0.1 %/FS		
Units	mm ²	kN	MPa	kN	MPa
BK-700-I	200.01	91.06	455.26	97.20	485.97

Name	Elongation
Units	%
BK-700-I	21.60



Comment

Hasil uji tarik spesimen 700 (lanjutan)



Hasil uji tarik spesimen 700 (lanjutan)

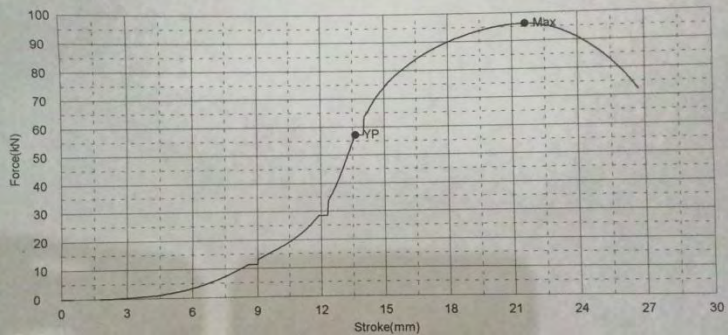
LABORATORIUM UJI BAHAN

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
BK-700-III	9.7000	20.5900	59.5000

Name	Area	Yield_Force	Yield_Stress	Max_Force	Max_Stress
Parameter		0.1 %/FS	0.1 %/FS		
Units	mm ²	kN	MPa	kN	MPa
BK-700-III	199.72	57.24	286.62	96.20	481.66

Name	Elongation
Units	%
BK-700-III	21.41



Comment

Lampiran 5

Hasil uji tarik spesimen 900

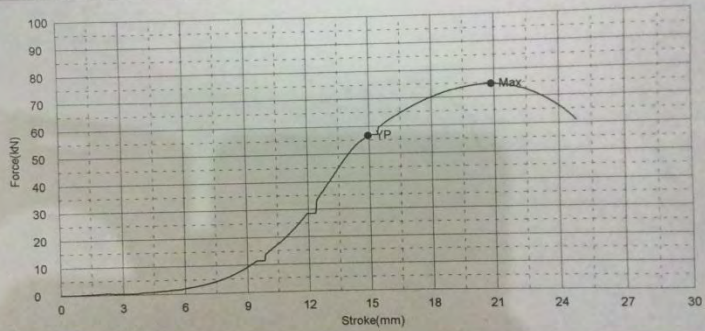
LABORATORIUM UJI BAHAN

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
BK-900-I	9.7000	16.9500	57.9000

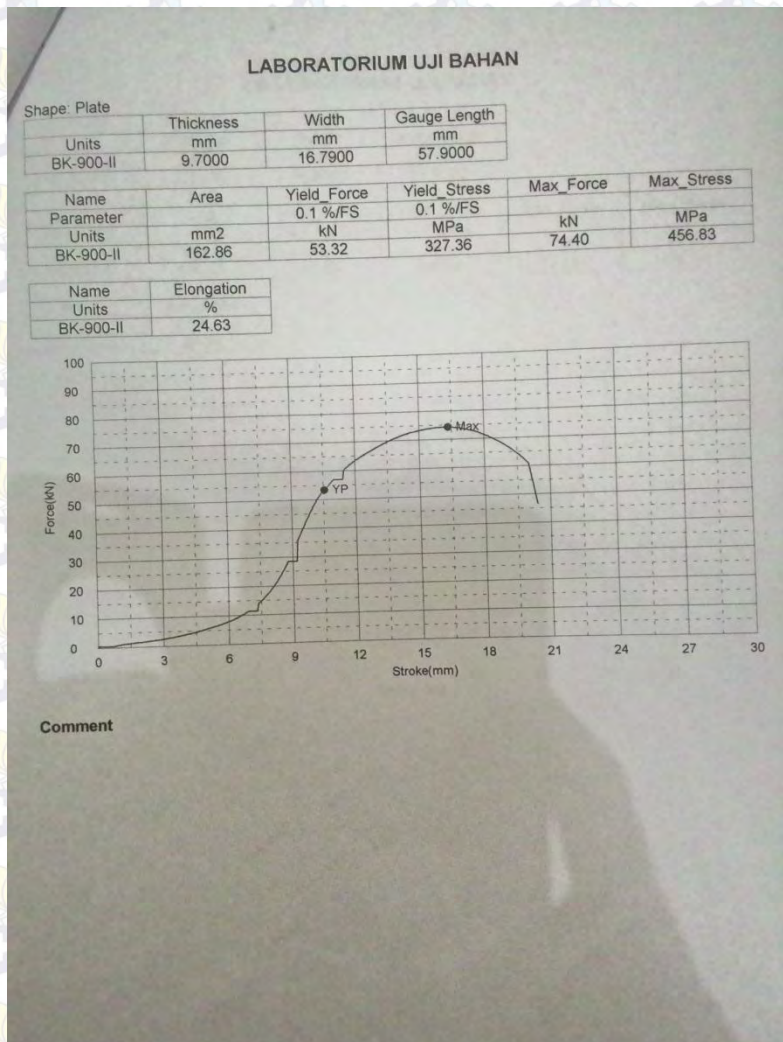
Name	Area	Yield_Force	Yield_Stress	Max_Force	Max_Stress
Parameter		0.1 %/FS	0.1 %/FS		
Units	mm ²	kN	MPa	kN	MPa
BK-900-I	164.41	56.72	344.96	74.75	454.63

Name	Elongation
Units	%
BK-900-I	19.33



Comment

Hasil uji tarik spesimen 900 (lanjutan)



Hasil uji tarik spesimen 900 (lanjutan)

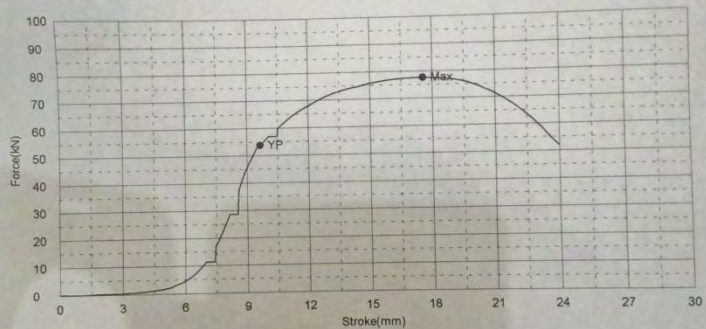
LABORATORIUM UJI BAHAN

Shape: Plate

	Thickness	Width	Gauge Length
Units	mm	mm	mm
BK-900-III	9.7000	16.8200	57.9000

Name	Area	Yield Force	Yield Stress	Max Force	Max Stress
Parameter		0.1 %/FS	0.1 %/FS		
Units	mm ²	kN	MPa	kN	MPa
BK-900-III	163.15	53.83	329.94	77.68	476.10

Name	Elongation
Units	%
BK-900-III	28.26



Comment

Lampiran 6

komposisi kimia SA 36

TABLE 2 Chemical Requirements

NOTE 1—Where “...” appears in this table there is no requirement. The heat analysis for manganese shall be determined and reported as described in the heat analysis section of Specification A 6/A 6M.

Product	Shapes ^A	Plates ^B			Bars					
		To % [20], incl	Over % to 1½ [20 to 40], incl	Over 1½ to 2½ [40 to 65], incl	Over 2½ to 4 [65 to 100], incl	To % [20], incl	Over % to 1½ [20 to 40], incl	Over 1½ to 4 [100], incl	Over 4 [100]	
Carbon, max, %	0.26	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29	0.26	0.27	0.28	0.29
Manganese, %	0.80–1.20	0.80–1.20	0.85–1.20	0.85–1.20	...	0.60–0.90	0.60–0.90	0.60–0.90
Phosphorus, max, %	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Sulfur, max, %	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicon, %	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.15–0.40	0.15–0.40	0.15–0.40	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.40 max
Copper, min, % when cop- per steel is specified	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

^A Manganese content of 0.85–1.35 % and silicon content of 0.15–0.40 % is required for shapes over 426 lbft (634 kgm).

^B For each reduction of 0.01 % below the specified carbon maximum, an increase of 0.05 % manganese above the specified maximum will be permitted up to the maximum of 1.35 %.

Lampiran 7

kekuatan mekanik material

TABLE 3 Tensile Requirements^A

Plates, Shapes, ^B and Bars:	
Tensile strength, ksi [MPa]	58–80 [400–550]
Yield point, min, ksi [MPa]	36 [250] ^C
Plates and Bars ^{D,E} :	
Elongation in 8 in. [200 mm], min, %	20
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %	23
Shapes:	
Elongation in 8 in. [200 mm], min, %	20
Elongation in 2 in. [50 mm], min, %	21 ^B

^A See Specimen Orientation under the Tension Tests section of Specification A 6/A 6M.

^B For wide flange shapes over 426 lb/ft [634 kg/m], the 80 ksi [550 MPa] maximum tensile strength does not apply and a minimum elongation in 2 in. [50 mm] of 19 %, applies.

^C Yield point 32 ksi [220 MPa] for plates over 8 in. [200 mm] in thickness.

^D Elongation not required to be determined for floor plate.

^E For plates wider than 24 in. [600 mm], the elongation requirement is reduced two percentage points. See elongation requirement adjustments under the Tension Tests section of Specification A 6/A 6M.

BIODATA PENULIS



Penulis merupakan anak ke dua dari tiga bersaudara yang dilahirkan pada tanggal 7 Mei 1993 di Sumenep - Madura. Pendidikan Formal yang pernah ditempuh meliputi SDN Marengan Daya 1 Sumenep, kemudian melanjutkan studi ke SMPN 2 Sumenep, dan dilanjutkan ke SMK Penerbangan - Juanda Sidoarjo dengan bidang studi AMR. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan ke tingkat perguruan tinggi di Program Studi D3 Teknik Mesin FTI-ITS pada tahun 2012 dan terdaftar sebagai mahasiswa D3 Teknik Mesin FTI-ITS dengan NRP 2112-030-036 serta mengambil bidang studi manufaktur. Penulis pernah melakukan Kerja Praktek di PT. MERATUS LINE Surabaya. Demikian sedikit biodata penulis yang dapat dilampirkan.